

PRODUÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA – PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA

FÁBIO ANDRÉ BORGES DE SOUSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel de Oliveira Piqueiro

JULHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

“It always seems impossible until it’s done”

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Concluída esta etapa tão importante do meu percurso académico, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente me impulsionaram e contribuíram para o alcance de todos os meus objetivos, destacando alguns em especial.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer aos meus pais, que tudo fizeram para que, mesmo nas alturas mais complicadas, nunca me faltasse a estabilidade, o apoio e a força necessários ao meu percurso académico. Os seus exemplos e valores nunca foram, nem serão esquecidos, servindo todos os dias como motivação para procurar fazer o melhor possível.

Ao professor Francisco Piqueiro, meu orientador, pela amizade, disponibilidade e apoio demonstrados nesta última fase do meu percurso académico.

À Eliana, Cristiano, Cristóvão, Inês, Gouveia, Tiago pelo companheirismo demonstrado e companhia nas intermináveis noites passadas a trabalhar na FEUP.

A todos os meus amigos, que me apoiaram e ajudaram nas alturas difíceis, contribuindo de forma decisiva para ultrapassar os obstáculos à medida que estes iam surgindo.

RESUMO

Este trabalho, realizado no âmbito de uma dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tem como objetivo o estudo da produção de energia em sistemas de abastecimento de água.

Com este trabalho pretende-se fazer um estudo da viabilidade da instalação de equipamentos de recuperação energética em sistemas de abastecimento de água bem como a apresentação dos processos necessários desde que surge a ideia até que se tem o sistema a produzir energia.

Os sistemas de abastecimento de água servem para distribuir água potável às populações, de forma a que os consumidores recebam em casa água de boa qualidade sem falhas.

A recuperação de desníveis energéticos neste tipo de sistemas ainda é um tema pouco explorado, que demonstra ser uma boa solução para a produção de pequenas quantidades de energia.

Esta energia excedentária integra-se no duplo conceito de energia renovável e de energia alternativa - renovável, porque a fonte primária é a água.

Foi efetuada uma análise, para um caso real, situado em Arouca, da instalação de uma microturbina num sistema de abastecimento de água com o objetivo de recuperar os desníveis energéticos.

Durante este trabalho conclui-se que a instalação de equipamentos para a recuperação de desníveis energéticos é uma boa solução para a produção de pequenas quantidades de energia.

Palavras chave: Produção energética, sistema de abastecimento de água, energia renovável, válvula redutora de pressão, turbina.

ABSTRACT

This work, carried out as part of the defense of the dissertation to obtain a master's degree in civil engineering from the Faculty of Engineering of the University of Porto, aims to study the production of energy in water supply systems.

This work intends to make a study of the feasibility of the installation of energy recovery equipment in water supply systems as well as the presentation of the necessary processes from the moment the idea comes up until the system produces energy.

Water supply systems serve to distribute drinking water to populations so that consumers receive good quality water at home without fail.

The recovery of energy gaps in this type of system is still an unexplored issue, which proves to be a good solution to produce small amounts of energy.

This surplus energy integrates into the dual concept of renewable energy and alternative energy - renewable, because the primary source is water.

An analysis was made, for a real case, located in Arouca, of the installation of a microturbine in a water supply system with the objective of recovering the energy gaps.

During this work it is concluded that the installation of equipment for the recovery of energy gradients is a good solution to produce small amounts of energy.

Key words: Energy production, water supply system, renewable energy, pressure reducing valve, turbine.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ASPETOS GERAIS	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	1
2 ESTADO DE ARTE.....	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. ENERGIA: PANORAMA NACIONAL	5
2.3. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA POR RENOVÁVEIS NA ÚLTIMA DÉCADA	7
2.4. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA.....	9
2.5. HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL	10
2.5.1. INTRODUÇÃO.....	10
2.5.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	10
2.5.3. SITUAÇÃO ATUAL	10
2.6. REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	11
2.6.1. FUNCIONAMENTO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	11
2.6.2. ACESSÓRIOS DOS SAAG.....	12
2.7. RECUPERAÇÃO DA ENERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	14
2.8. METODOLOGIA DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA DESCENTRALIZADA	15
2.9. ENERGIA EM CENTRAIS MINI-HÍDRICAS	16
2.10. LIGAÇÃO À REDE DAS CENTRAIS MINI-HÍDRICAS	17
3 EQUIPAMENTOS E ÓRGÃOS DE CONTROLO	19
3.1. INTRODUÇÃO.....	19
3.2. VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO	19

3.3.	TIPOS DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA	22
3.3.1.	INTRODUÇÃO	22
3.3.2.	TURBINAS PELTON.....	22
3.3.3.	TURBINAS FRANCIS	23
3.4.	BOMBAS-TURBINAS	25
4	ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO	27
4.1.	INTRODUÇÃO	27
4.2.	ORGANIZAÇÃO LEGISLATIVA	27
4.2.1.	ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL	27
4.2.2.	PRODUÇÃO EM REGIME ESPECIAL	28
4.2.3.	REGIME DE PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA	29
4.2.3.1.	Atual Enquadramento Legislativo	29
4.2.3.2.	Objetivos da Revisão Legislativa.....	30
4.2.3.3.	Lei da Água – lei n.º 58/2005.....	31
4.2.3.4.	Utilização dos Recursos Hídricos – DL nº 226-A/2007	32
4.2.3.5.	Regime Económico e Financeiro dos Recursos Hídricos – DL nº97/2008	33
4.3.	AUTOCONSUMO VS UNIDADES DE PEQUENA PRODUÇÃO	35
4.3.1.	INTRODUÇÃO.....	35
4.3.2.	AUTOCONSUMO	35
4.3.3.	UNIDADES DE PEQUENA PRODUÇÃO.....	37
4.3.3.1.	Categorias de UPP e Cotas de Potência	37
4.3.3.2.	Remuneração da Energia Elétrica Injetada na RESP	38
4.3.3.3.	Licenciamento.....	39
5	ESTUDO DE CASO	41
5.1.	INTRODUÇÃO	41
5.2.	SELEÇÃO DO LOCAL	41
5.3.	LOCAL DA INSTALAÇÃO.....	42
5.4.	PRESSÕES NO SISTEMA	44
5.4.1.	INTRODUÇÃO	44
5.4.2.	PRESSÕES	44
5.4.3.	PERDAS DE CARDA	45
5.5.	CONSUMOS NA REDE	47
5.6.	DETERMINAÇÃO DO CAUDAL INSTALADO E POTÊNCIA	50

5.6.1.	INTRODUÇÃO.....	50
5.6.2.	CURVAS DE CAUDAIS CLASSIFICADOS	50
5.6.3.	POTENCIA	52
5.7.	ENERGIA PRODUZIDA	53
5.7.1.	INTRODUÇÃO.....	53
5.7.2.	PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	53
5.8.	POUPANÇA.....	54
5.8.1.	INTRODUÇÃO.....	54
5.8.2.	CUSTO DA ENERGIA E REDUÇÃO DE CUSTOS.....	54
5.9.	CONCLUSÕES	55
6	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Elementos de uma instalação de recuperação de energia de sistema de abastecimento de água [4].	4
Figura 2.2 - Exemplo do funcionamento de uma bomba a funcionar como turbina [4].	5
Figura 2.3 - Repartição das fontes na produção de eletricidade em Portugal Continental em 2016 [5].	5
Figura 2.4 - Balanço da produção de eletricidade e de trocas internacionais de Portugal Continental [5].	6
Figura 2.5 - Evolução da produção de eletricidade por fonte [5].	7
Figura 2.6 - Produção de Energia Renovável em Portugal (Direção Geral de Energia e Geologia, 2016) [6].	8
Figura 2.7 - Produção de Energia por Fonte por País Europeu [6].	8
Figura 2.8 - Evolução da Dependência Energética em Portugal (%) [7].	9
Figura 2.10 - Junta de montagem.	12
Figura 2.11 - Tê.	12
Figura 2.12 - Válvula de seccionamento.	13
Figura 2.13 - Válvula de descarga.	13
Figura 2.14 - Válvula redutora de pressão.	13
Figura 2.15 - Ventosa.	14
Figura 2.16 - Principais Elementos de um Aproveitamento.	17
Figura 2.17 - Intervenções para colocação em serviço das CMH [10].	18
Figura 3.1 - Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão [14].	20
Figura 3.2 - Tipos de Funcionamento das VRP's [14].	21
Figura 3.3 - Funcionamento ativos de diferentes sistemas de VRP [14].	21
Figura 3.4 - Representação de uma Válvula de Agulha e do Deflector. Adaptado de [17].	22
Figura 3.5 - Funcionamento de uma Turbina Pelton [18].	23
Figura 3.6 - Esquema e legenda dos componentes de uma Turbina Francis [18].	24
Figura 3.7 - Funcionamento de uma Bomba-Turbina [21].	25
Figura 4.1 - Organização do sistema elétrico nacional [22].	28
Figura 4.2 - Principais diferenças entre autoconsumo e pequena produção [23].	31
Figura 4.3 - Principais diferenças entre autoconsumo e pequena produção [23].	31
Figura 4.4 - Diagrama de produção e Consumo [27].	35
Figura 4.5 - Processo de licenciamento de uma UPAC [27].	36
Figura 4.7 - Categorias para atribuição de potência [27].	38
Figura 4.8 - percentagem sobre as tarifas de referência [27].	38
Figura 4.9 - Exemplo do registo de uma UPP [27].	39
Figura 5.1 - Reservatório do subsistema de Souto Redondo.	42
Figura 5.2 - VRP1	43
Figura 5.3 - VRP2.	43

Figura 5.4 - Trajeto entre o reservatório e a VRP2.....	44
Figura 5.5 - Consumo diário no mês de fevereiro.....	47
Figura 5.6 - Consumo diário do mês de março.....	47
Figura 5.7 - Consumo diário do mês de abril.....	48
Figura 5.8 - Consumo diário do mês de maio.....	48
Figura 5.9 - Consumo diário do mês de junho.....	48
Figura 5.10 - Consumo diário do mês de julho.....	49
Figura 5.11 - Consumo horário do dia 28 de julho de 2017.....	49
Figura 5.12 - Curva de caudais classificados do mês de fevereiro.....	50
Figura 5.13 - Curva de caudais classificados do mês de março.....	50
Figura 5.14 - Curva de caudais classificados do mês de abril.....	51
Figura 5.15 - Curva de caudais classificados de maio.....	51
Figura 5.16 - Curva de caudais classificados de junho.....	51
Figura 5.17 - Curva de caudais classificados de julho.....	52
Figura 5.18 - Curva de rendimentos.....	53
Figura 1 - VRP1.....	59
Figura 2 - VRP1.....	59
Figura 3 - bypass VRP1.....	60
Figura 4 - reservatório.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Produção de energia	10
Tabela 5.1 - Medições	44
Tabela 5.2 - Número de Reynolds e fator de atrito	45
Tabela 5.3 - perdas de carga unitárias e totais	46
Tabela 5.4 - comparação entre pressões medidas e pressões calculadas	46
Tabela 5.5 - Q/Q_{inst} vs η	53
Tabela 5.6 - Energia produzida	54
Tabela 1 - VRP's de Arouca	61

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ADP - Águas de Portugal

ARH - Administração das Regiões Hidrográficas

CIEG - Custos de Interesse Económico Geral

CMH - Centrais Mini-Hídricas

CNA - Conselho Nacional da Água

CRH - Conselhos da Região Hidrográfica

CUR - Comercializadores de Último Recurso

D - Diâmetro (m ou mm)

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DL - Decreto de Lei

E - Energia

EDA - Eletricidade dos Açores

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FER - Fontes de Energia Renováveis

FiT - *Feed-in Tariff*

g - Aceleração da gravidade (m/s^2)

GG - Grupos Geradores

GEB - Grupo Eletrobomba

Hu - Queda útil (m.c.a)

INAG - Instituto da Água

j - Perda de carga unitária (m/m)

k - Rugosidade equivalente (mm)

kW - Kilowatt (unidade de potência correspondente a 10^3 watts, $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$)

m.c.a - Metros de coluna de água

MW - Megawatts (unidade de medida correspondente a 10^6 watts)

OMIE - Operador do Mercado Ibérico de Energia

PAT - Pump as Turbine

PCH - Pequena Central Hidroelétrica

P - Potência (kW)

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PRE - Produção em Regime Especial

Q - Caudal (l/s ou m^3/s)

R – Reservatório

Re - Número de Reynolds

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

SEE - Sistemas de energia elétrica

SEI - Sistema Elétrico Independente

SEN - Sistema Elétrico Nacional

SENV - Sistema Elétrico Não Vinculado

SEP - Sistema Elétrico de Abastecimento Público

SERUP - Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção

U - Velocidade do escoamento

UNPEDE - União Internacional dos Produtores e Distribuidores de Energia Elétrica

UPAC - Unidade de Produção de Autoconsumo

UPP - Unidade de pequena produção

Re - Numero de Reynolds

V - Volume (m^3)

VRP - Válvula Redutora de Pressão

λ - Fator de atrito de Darcy-Weisbach

ΔH - Perda de carga total (m)

γ - Peso específico da água (kN/m^3)

η - Rendimento

1

INTRODUÇÃO

1.1. ASPETOS GERAIS

A presente dissertação insere-se nos projetos de fim de curso para obtenção do grau de mestre em engenharia civil, ramo de recursos hídricos e ambiente, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Esta pretende realizar uma abordagem geral aos aproveitamentos hídricos de pequena dimensão. Contudo, atendendo à importância associada ao desenvolvimento de novos sistemas de aproveitamento de energia, considerou-se a análise da recuperação de energia hidráulica dissipada em sistemas adutores ou de distribuição de água nas redes de abastecimentos de águas públicas.

Tal situação foi considerada, visto que os sistemas adutores e / ou de distribuição de água, com excesso de energia ou carga hidráulica, necessitam do controlo da pressão através de estruturas ou órgãos hidráulicos dissipadores que provoquem o abaixamento da linha piezométrica.

Apesar de ser tecnicamente viável a implementação de grupos geradores nas condutas de adução, esta situação só se torna interessante se se apresentar economicamente viável.

Surge então a necessidade da existência de estudos de pré-viabilidade de investimento. Este tipo de estudo permite a um agente de decisão obter uma janela de orientação acerca do comportamento dum projeto durante o seu período de vida útil.

1.2. OBJETIVOS

Uma das grandes preocupações na gestão dos recursos consumidos pelos sistemas de abastecimento de água é a melhoria da eficiência energética dos seus processos de produção e transporte.

Uma das áreas que têm sido objeto de análise é a do transporte de água em condutas em que o escoamento se faz de forma gravítica. O estudo do balanço energético associado a estas instalações pretende identificar locais onde se verifica dissipação de energia e avaliar a viabilidade técnica e económica do seu aproveitamento.

Assim sendo, surge esta dissertação, que terá como objetivo a análise do aproveitamento da energia que é dissipada, para produção de energia elétrica. Será também feito um enquadramento legal, de como licenciar este tipo de projetos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos, com correspondentes subcapítulos.

No presente capítulo é feito o enquadramento sobre os temas que serão abordados ao longo deste trabalho.

No capítulo 2 é efetuada a análise ao estado da arte da dissertação, ou seja, referência ao que já foi pesquisado e elaborado relativamente ao tema em questão, nomeadamente metodologias aplicadas, soluções técnicas implementadas e inovação.

No terceiro capítulo é feita uma abordagem sobre os equipamentos que existem para o controlo de pressões e que poderão existir para controlar as pressões e produzir energia simultaneamente.

No quarto capítulo é feito o enquadramento legal da produção de energia elétrica em unidades de pequena produção, bem como em unidades de autoconsumo.

Será também feita uma espécie de tutorial com o intuito de facilitar o licenciamento deste tipo de produção de energia.

No quinto capítulo será feito um estudo da viabilidade técnica e económica da instalação de um equipamento de recuperação de energia num sistema de abastecimento de água.

Por fim, no capítulo 6, serão tiradas conclusões sobre o tema que foi desenvolvido ao longo deste trabalho.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

A energia faz parte do paradigma de desenvolvimento e crescimento das sociedades e surge atualmente no centro das preocupações mundiais sobre a sustentabilidade e a utilização mais eficiente dos recursos, particularmente no que se refere ao aumento da procura de fontes de energia, num contexto de oferta limitada, e ao impacto nas alterações climáticas com graves consequências nos ecossistemas e nas atividades económicas.

Em 2007 a Europa definiu uma nova política energética, denominada Estratégia 20-20-20, com objetivos focados no aumento da eficiência energética para redução em 20% da energia primária (energia de fonte natural), no aumento para 20% do peso das energias renováveis no consumo energético final e na redução em 20% das emissões de Gases com Efeito de Estufa (relativamente a 1990) [1].

O aumento do preço do petróleo bem como a emissão de gases de estufa para a atmosfera vem tornar a produção através de fontes renováveis, e não poluentes, uma necessidade.

As fontes de energia renovável, embora apresentem custos iniciais elevados e restrições geográficas e ambientais importantes, representam uma opção viável para a produção de energia, dado que:

- Os recursos energéticos renováveis estão disponíveis localmente;
- O aproveitamento dos recursos energéticos renováveis traduz-se em benefícios ambientais com a redução das emissões de CO₂ e outros poluentes;
- Contribuem para a criação de emprego, promovendo a coesão social e económica;
- Estimulam a competitividade da indústria europeia;
- Aumentam a segurança e estabilidade no fornecimento de energia, reduzindo as importações.

Em geral, os países têm-se dedicado a gerar energia, em particular através de geração de energia hidroelétrica, que pode ser uma fonte barata a longo prazo. Tal pode incentivar pequenas indústrias a competir internacionalmente através de uma vasta gama de novas opções de fontes de energia. A energia hidráulica é uma das fontes de energia mais antiga da humanidade. As pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) são uma das respostas mais valiosas para a questão de como oferecer às comunidades rurais isoladas alguns benefícios com a produção de energia elétrica. Esta pode ser uma solução para problemas complexos de fornecimento de energia. A produção em pequena escala da eletricidade tem vindo a crescer, pois pode preencher as lacunas da descentralização e mesmo a produção na atividade privada e municipal para a venda à rede elétrica ou alternativamente para fornecer energia a indústrias ou a comunidades isoladas. Assim, as PCHs apresentam vantagens, como é o exemplo do baixo custo. Estas estão na vanguarda para muitos países poderem alcançar a sua auto-suficiência energética [2].

Com o objetivo de satisfazer as necessidades energéticas de uma população em franco crescimento e com níveis de qualidade de vida mais exigentes, surgiu a necessidade de projetar aproveitamentos hidroelétricos com capacidade de armazenamento da água turbinada para sua futura reutilização. Sucintamente, este tipo de instalações constitui, desde aí, a forma mais eficiente e ambientalmente mais aceitável de armazenar energia potencial hidráulica durante fases de baixa necessidade energética, para torná-la disponível na rede em picos de procura.

Este novo conceito de aproveitamento energético, conhecido por “pump-storage”, foi um dos impulsionadores responsáveis pelo desenvolvimento significativo das bombas a funcionar no sentido reversível como turbina atribuindo-lhes, desde aí, um papel preponderante para satisfazer as necessidades particulares deste tipo de instalações.

A análise do cenário energético atual levou a um maior recurso a fontes de energia renováveis, obrigando, para tal, à construção e exploração de mini-hídricas e micro aproveitamentos, e abrindo portas ao desenvolvimento de soluções alternativas, com especial ênfase no aproveitamento de energia hidráulica dentro do contexto dos sistemas de abastecimento de água sob pressão, onde as bombas a funcionar como turbina têm um elevado potencial para serem exploradas [3].

A Figura 2.1 está feita uma representação da instalação de um equipamento de recuperação de energia num sistema de abastecimento de água. A Figura 2.2 representa um corte de uma bomba a funcionar como turbina.

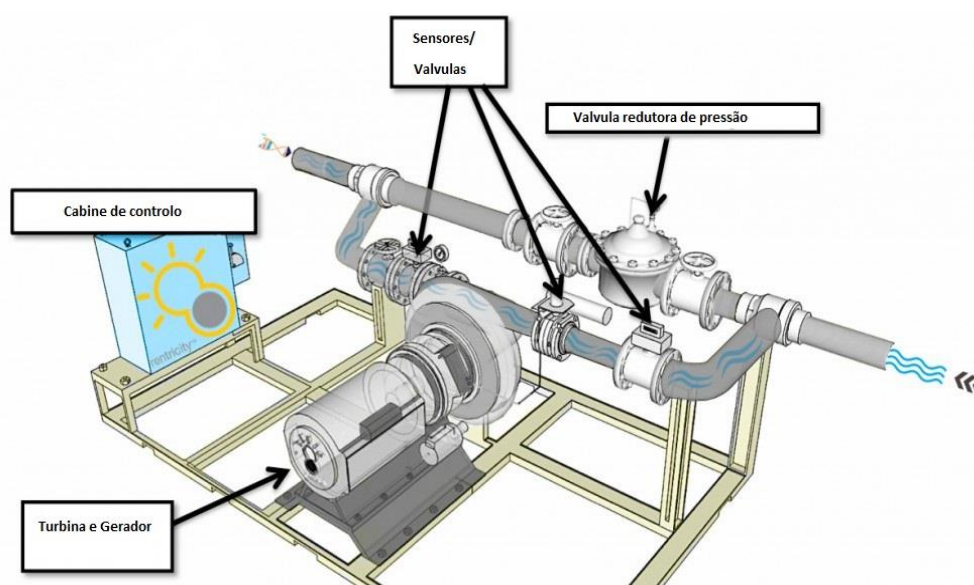


Figura 2.1 - Elementos de uma instalação de recuperação de energia de sistema de abastecimento de água [4].

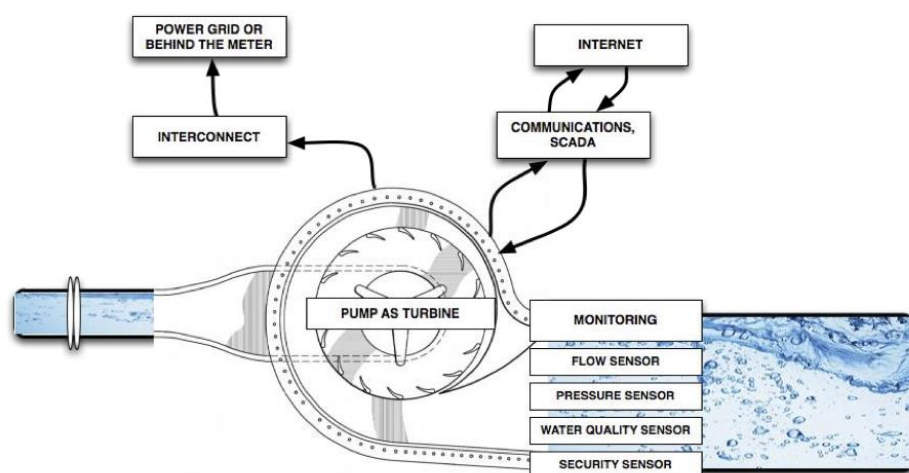


Figura 2.2 - Exemplo do funcionamento de uma bomba a funcionar como turbina [4].

2.2. ENERGIA: PANORAMA NACIONAL

O ano de 2016 evidenciou o papel incontornável das fontes de energia renovável para um abastecimento fiável das necessidades elétricas nacionais. Durante o ano decorrido, a produção por fontes de energia renovável (FER), 32.283 GWh, representou uma percentagem histórica de 64 % face ao consumo de energia elétrica em Portugal Continental, 50.790 GWh. Destaca-se ainda positivamente um conjunto de 1.130 horas (equivalente a mais de 1,5 meses) em que a eletricidade renovável já foi suficiente para, só por si, abastecer o consumo elétrico nacional.

O valor acumulado, desde o início do ano, da repartição das fontes de produção de eletricidade no Continente responsáveis pelo abastecimento do consumo nacional e também pelo saldo exportador recorde, é ilustrado na Figura 2.3 [5].

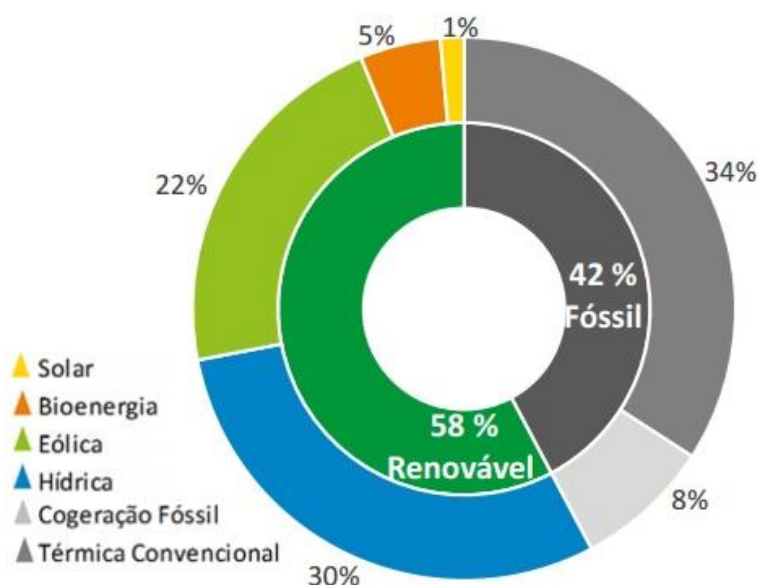


Figura 2.3 - Repartição das fontes na produção de eletricidade em Portugal Continental em 2016 [5].

As fontes de energia renovável representaram 58 % da produção nacional em 2016. A hídrica foi a fonte renovável que mais eletricidade gerou, 30 %, em consequência de um ano hidrológico bastante favorável, que originou uma produtibilidade hídrica 33 % acima da média, e de um aumento da potência

instalada a nível nacional. A eólica, com 22 % de representatividade na produção, ocupa o segundo lugar, seguida da bioenergia, 5 %. As centrais solares fotovoltaicas geraram pouco mais de 1 % da energia elétrica nacional, valor ainda muito baixo apesar do enorme potencial que esta tecnologia tem em território nacional.

A elevada representatividade das fontes renováveis induziu uma forte redução do preço médio anual da eletricidade no mercado, que se situou nos 39,4 €/MWh. Este preço contrasta com os valores de anos anteriores, quando a representatividade das renováveis era inferior. A título de exemplo recorda-se o ano de 2015, quando o preço médio anual do mercado foi de 50,4 €/MWh, para uma representatividade das renováveis de apenas 48 %. Em 2016, estima-se que o benefício positivo da produção renovável para a economia nacional através da redução do preço do mercado grossista seja superior a 900 M€. Em 2016, as exportações elétricas tiveram o seu máximo histórico, 7.055 GWh, suplantando largamente as importações, 1.973 GWh, o que fez um balanço exportador líquido de 5.082 GWh, como pode ser observado na Figura 2.4 [5].

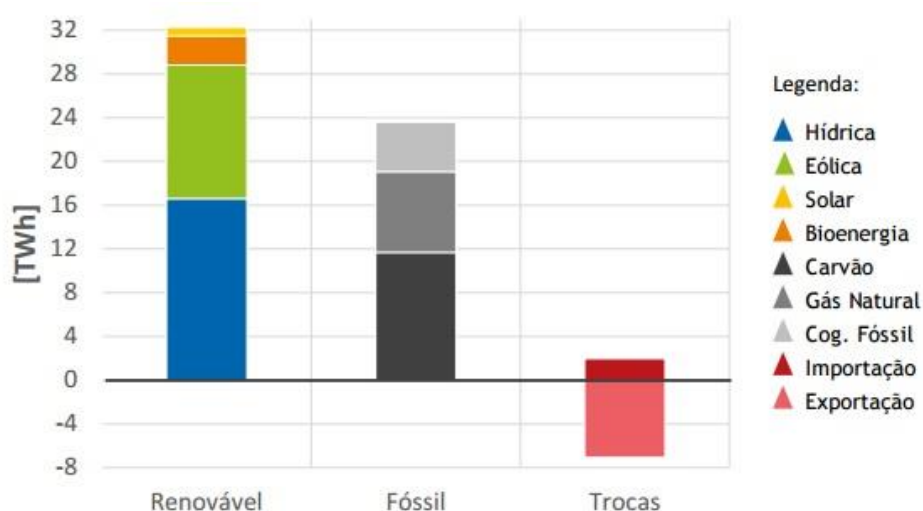


Figura 2.4 - Balanço da produção de eletricidade e de trocas internacionais de Portugal Continental [5].

Em termos acumulados, a eletricidade de origem fóssil totalizou 23.589 GWh. Dentro deste grupo, as centrais a carvão foram as maiores geradoras de eletricidade, 11.698 GWh, as centrais a gás natural produziram 7.374 GWh e a componente fóssil das centrais de cogeração forneceu 4.517 GWh à rede elétrica. Já a eletricidade renovável totalizou 32.283 GWh, o valor de produção mais elevado de sempre.

A energia hídrica foi a fonte renovável que mais eletricidade gerou, cerca de 16.629 GWh, pelas razões acima mencionadas. As centrais eólicas geraram 12.188 GWh, as centrais a biomassa geraram 2.684 GWh e as centrais solares fotovoltaicas produziram 781 GWh.

A análise das tendências dos últimos 3 anos (Figura 2.5) evidencia a variabilidade da produção hídrica, que de 2015 para 2016 teve um aumento superior a 70 %, e a constatação da produção eólica sempre se manter na ordem dos 11-12 TWh. A produção a partir do carvão tem-se mantido estável na ordem dos 12 TWh o que não prenuncia resultados positivos na redução das emissões. [5]

A Figura 2.5 mostra a evolução da produção de energia para as diversas fontes nos anos de 2014/2015 e 2016. No ano de 2015 verifica-se que houve uma quebra no que diz respeito a energia hidroelétrica. Isto deve-se, provavelmente, ao facto deste ano ter sido um ano extremamente seco, o que impossibilitou a produção otimizada de energia através da água.

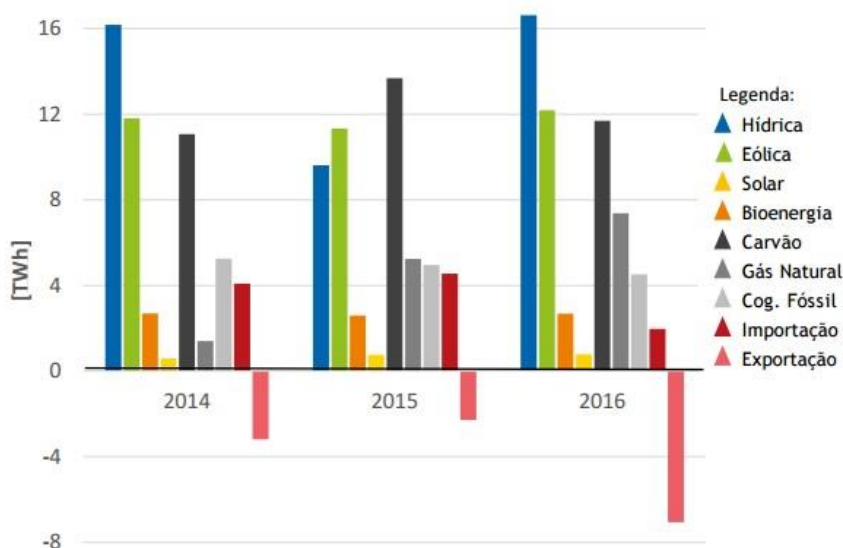


Figura 2.5 - Evolução da produção de eletricidade por fonte [5].

Embora a produção renovável tenha atingido uma representatividade de 64 % no consumo elétrico, os dados mais recentes da DGEG indicam que em 2016 a produção de eletricidade renovável normalizada ainda só era da ordem de 52 %. Este valor ainda é muito inferior ao necessário para se atingirem as metas de 60 % de renovável no mix elétrico nacional em 2020, patenteando a necessidade de um investimento mais ambicioso no setor renovável por parte dos decisores políticos.

Em 2016 estima-se que a elevada produção elétrica com origem em fontes renováveis tenha induzido poupanças que rondam os 890 milhões de euros só com a importação de combustíveis fósseis (gás natural e carvão) e mais 63 milhões de euros em licenças de emissão de CO₂.

Em suma, pode-se concluir que quanto maior o peso da produção de energia através de renováveis, menor serão os gastos da sua geração [5].

2.3. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA POR RENOVÁVEIS NA ÚLTIMA DÉCADA

Ao longo dos últimos anos tem-se verificado um aumento da energia produzida com base em fontes renováveis, essencialmente devido à entrada em exploração de grandes parques eólicos desde os primeiros anos deste século. Nos últimos anos, praticamente metade da energia elétrica consumida em Portugal tem tido origem em fontes renováveis, sendo que quase dois terços de toda a eletricidade consumida em Portugal em 2014 foram produzidos a partir da água, do vento e do sol, Figura 2.6.

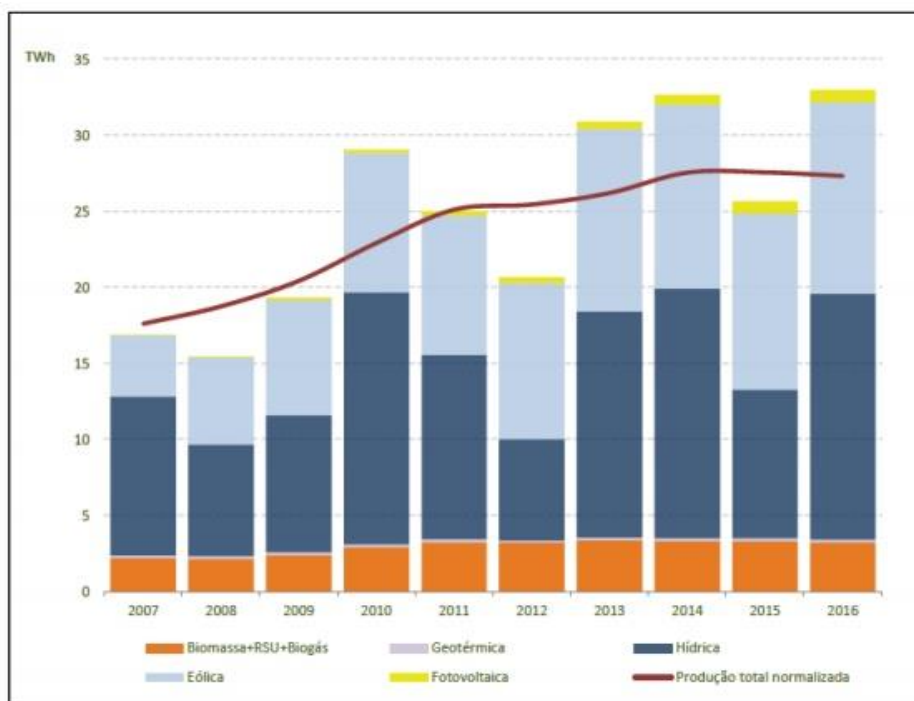


Figura 2.6 - Produção de Energia Renovável em Portugal (Direção Geral de Energia e Geologia, 2016) [6].

Ao longo dos últimos 10 anos, a produção de energia elétrica renovável teve um aumento de 52,8% em Portugal e verifica-se uma maior influência das zonas Norte e Centro na produção.

Portugal foi, em 2014, o terceiro país da União Europeia com maior incorporação de energias renováveis na produção de energia elétrica, Figura 2.7. Esta posição deve-se principalmente ao contributo das fontes hídrica e eólica. Demonstrando assim que ainda existe muito potencial de fonte fotovoltaica para ser explorado em Portugal, tendo em atenção a exposição solar a que Portugal está sujeito [6].

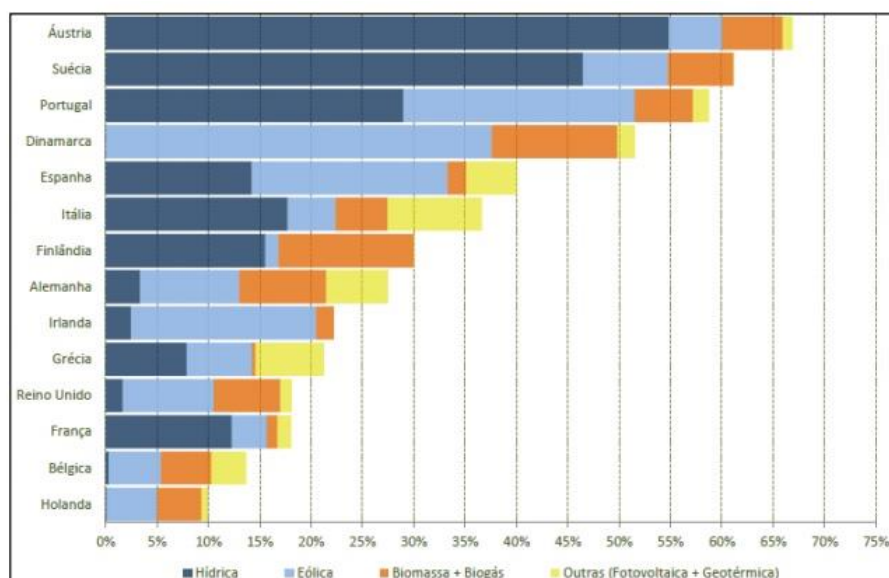


Figura 2.7 - Produção de Energia por Fonte por País Europeu [6].

2.4. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

Um dos principais desafios e objetivos da atual política energética nacional prende-se com a redução da dependência energética do exterior. Historicamente, Portugal apresenta uma dependência energética elevada, entre 80 e 90%, fruto da inexistência de fontes de energia fóssil, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no mix de consumo de energia. A aposta nas renováveis e na eficiência energética, com maior incidência nos últimos anos, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80%. No entanto, a variabilidade do regime hidrológico, associado a uma grande componente hídrica no sistema electroprodutor nacional, influencia negativamente a dependência energética em anos secos, como foi o caso do ano 2005 ou 2008.

Em 2013 a dependência energética situou-se nos 73,9%, representando uma redução de 5,4% face a 2012 e uma redução de 14,9% face a 2005, ano em que se verificou a dependência energética mais elevada dos últimos anos, Figura 2.8. Esta redução deve-se em grande parte ao aumento da produção hídrica e eólica e consequente redução das importações de produtos petrolíferos.

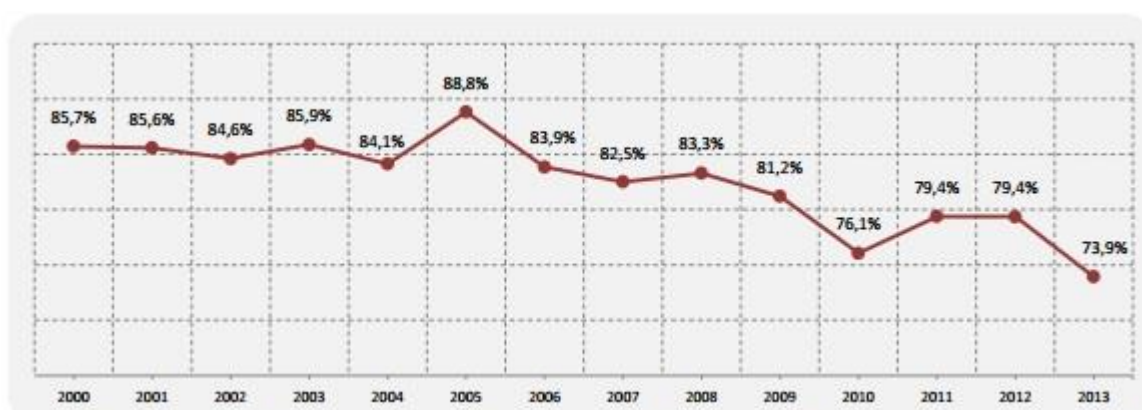


Figura 2.8 - Evolução da Dependência Energética em Portugal (%) [7].

Comparando a dependência energética no conjunto dos países da UE-28, verificou-se que em 2013 Portugal foi o 8º país com a maior dependência energética, cerca de 20% acima da média da UE-28, Figura 2.9 [7].

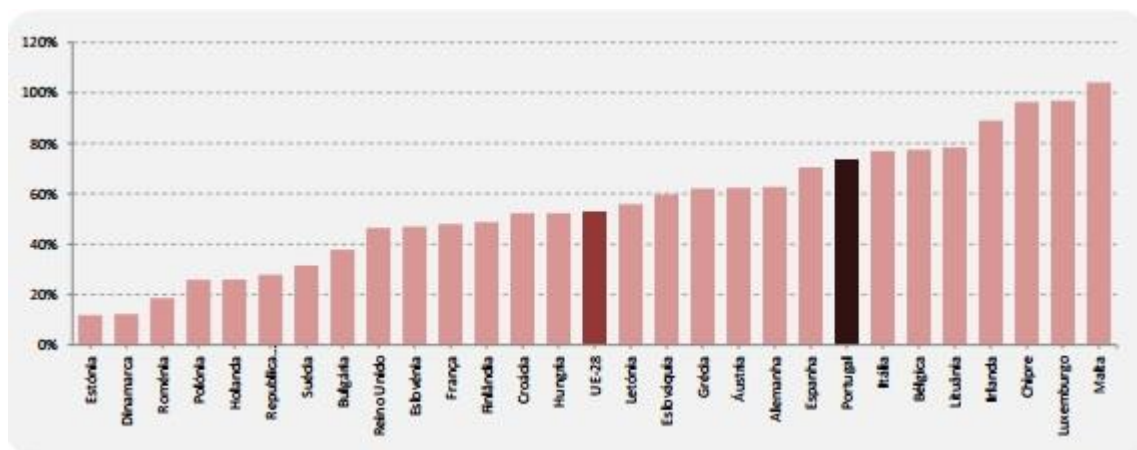


Figura 2.9 - Dependência Energética na UE-28 em 2013 [7].

2.5. HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL

2.5.1. INTRODUÇÃO

A energia hidroelétrica utiliza a energia da água aproveitando o seu desnível e movimento para gerar energia mecânica que é depois transformada em energia elétrica.

A água dos rios é utilizada para gerar eletricidade em Portugal há mais de 100 anos, continuando por explorar um importante potencial hidroelétrico, mormente em centrais hidroelétricas de pequena e média dimensão.

2.5.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Em Portugal, a utilização da água como força motriz é também feita há séculos, através do funcionamento de moinhos e de azenhas tradicionais. Na produção de energia elétrica, nomeadamente para alimentar pequenas instalações de iluminação pública e industriais, a utilização da água, através de grupos turbina-gerador, começou na última década do século XIX.

A primeira central hidroelétrica portuguesa, para aproveitamento da então chamada “hulha branca”, entrou em exploração em 31 de Março de 1894 e turbinava as águas do rio Corgo, mais precisamente no Poço do Agueirinho, junto a Vila Real, apresentando a modesta potência instalada de 120 kW (na altura dizia-se 161 Hp).

A efetiva eletrificação do País teve lugar a partir de 1920, através de sistemas regionais e de centrais hidroelétricas de média dimensão (em que na altura relevava a do Lindoso, com 28 MW), adquirindo uma dimensão expressiva na década de 1950, com o início da construção das grandes centrais hidroelétricas, entre as quais avultam as de Venda Nova, Castelo do Bode, Cabril, Picote e Miranda. A potência global hoje instalada em aproveitamentos de grande dimensão (> 30 MW) ultrapassa os 6000 MW.

As pequenas centrais hidroelétricas (PCH), com potência igual ou menor que 10 MW, tiveram um claro incremento a partir do final da década de 80 do século XX, com a entrada em cena dos denominados produtores independentes de eletricidade. A potência atualmente instalada nessa gama de empreendimentos é da ordem dos 370 MW [8].

2.5.3. SITUAÇÃO ATUAL

Atualmente, e em ano médio, aproximadamente 30% da eletricidade consumida em Portugal tem origem hídrica, com base em empreendimentos de diferentes características.

Encontram-se em funcionamento em Portugal cerca de 120 PCH. Estas centrais, em conjunto com as cerca de 40 centrais hidroelétricas com potência compreendida entre os 10 MW e os 30 MW, têm instalada uma capacidade total superior a 660 MW.

Numa avaliação prospetiva do potencial hidroelétrico português, apresentam-se no quadro a baixo estimativas do potencial existente, já em exploração ou ainda por aproveitar, conforme os valores disponíveis referentes ao final de 2016. Da análise dos valores contidos nesse quadro, salienta-se a considerável capacidade ainda não explorada, sobretudo através de aproveitamentos de pequena e média dimensão [8].

Tabela 2.1 - Produção de energia.

Tipo de aproveitamento	Exploradas (MW)	Por explorar (MW)	Total (MW)
Pequena e média dimensão (<30MW)	655	455	1120
Grande Dimensão	6169	3550	9720
Total de Renováveis	13332	8788	22120

A produção de energia em centrais hidroelétricas traz bastantes vantagens, a vários níveis, sendo as principais:

- ser uma fonte de energia renovável, utilizável nos cursos de água portugueses;
- ser uma energia limpa, que não produz gases com efeito de estufa nem outros agentes poluentes (cinzas, materiais radioativos, outros resíduos);
- contribuir para a redução da dependência energética exterior, materializada na menor importação de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão);
- evitar, por cada MWh de energia elétrica de origem hídrica produzida, com base em valores de 2015/2016, a emissão de 0.37 toneladas de gases com efeito de estufa que resultaria da utilização alternativa de combustíveis fósseis;
- contribuir para Portugal atingir compromissos e metas internacionais, nomeadamente estabelecidas no Protocolo de Quioto, no Acordo de Paris e na legislação comunitária (Diretiva 2009/28/CE);
- complementar as outras formas de produção de energia elétrica, contribuindo para a diversificação e disseminação dos meios de produção;
- promover a criação de postos de trabalho de diversa tipologia, tanto durante a fase construção como durante a fase de operação e manutenção, e a criação de novas infra-estruturas locais.
- contribuir para a estabilização da energia colocada na rede elétrica, permitindo que esta responda rapidamente a picos de procura e a quebras substanciais noutras formas de produção [8].

2.6. REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O setor de abastecimento de água contribui significativamente para o desenvolvimento económico e social do País, tanto pela capacidade de gerar atividade económica e, consequentemente, de criar emprego e riqueza, como pela crescente melhoria que tem conferido às condições de vida da população. De facto, são classificados como serviços de interesse económico geral, num parecer emitido pelo Conselho Económico e Social, e como serviços públicos essenciais, o que reforça a importância dos serviços de águas e resíduos para o desenvolvimento económico e social do País. Pela sua natureza, estes serviços devem obedecer a princípios de universalidade no acesso, a preços acessíveis aos utilizadores, tendo em conta a realidade socioeconómica nacional, constituindo um importante fator de equilíbrio social. Em 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o acesso à água potável e ao saneamento um direito humano essencial ao pleno prazer da vida e de todos os outros direitos humanos, reforçando assim a importância e a preocupação que cada vez mais recaem sobre este setor. O valor económico do mercado criado pela atividade deste setor é também relevante, tanto em termos de investimento em infraestruturas, como em termos de gestão e exploração de sistemas e atividades complementares, enquanto fornecedores de serviços, materiais e produtos, tendo-se assistido ao crescimento de uma verdadeira indústria da água, sendo previsível que se assuma como um setor de ponta em termos de crescimento, volume de investimentos, geração de emprego e promoção do desenvolvimento tecnológico. O desenvolvimento empresarial nos serviços de águas em Portugal encontra-se ainda numa fase de crescimento e expansão, embora tenha abrandado nos últimos anos, tanto a criação de novos sistemas multimunicipais de águas e resíduos, como a empresarialização dos serviços.

2.6.1. FUNCIONAMENTO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAAG) constituem-se como a primeira fase da “condução da água” no seu ciclo de utilização, ao longo da qual são efetuados variados estudos e obras de engenharia. Os SAAG podem dividir-se em cinco fases fundamentais a saber: Origem (conjunto de equipamentos e instalações utilizados para a tomada/captação de água), Tratamento (melhoria das características qualitativas da água, dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico e organolético), Transporte (transporte da água a partir da captação ou da fase de Tratamento), Armazenamento e

Distribuição/Utilização (condução da água para os edifícios e pontos de consumo). Em termos da fase de “Tratamento”, podem distinguir-se essencialmente duas situações diferentes – a de o tratamento se situar a montante ou a jusante do transporte, devendo notar-se que podem encontrar-se em certos casos, pequenas instalações de tratamento (por exemplo, de desinfecção) na rede de distribuição ou que pode não existir alguma das partes constituintes indicadas.

2.6.2. ACESSÓRIOS DOS SAAG

Por forma a ultrapassar as diferentes adversidades, sejam elas de mudança de direção, sentido, de diâmetro, de material, entre outras, é necessário recorrer a vários acessórios. Há uma distinção entre os acessórios que permitem a ligação entre tubos – “acessórios de tubos”, e aqueles que contribuem para o bom funcionamento da rede, isto é, permitem o fecho de água aquando de avarias, a redução de pressão, descargas de fundo, libertação de ar e ainda de utilização pública para incêndios, bebedouros, fontanários, bocas de rede – “acessórios de rede”. Nestes dois grupos de acessórios destacam-se:

- Acessórios de condutas dos tubos: curva, cruzeta simples ou de redução, tê simples ou de redução, cone de redução, junta cega e filtros;



Figura 2.10 - Junta de montagem.



Figura 2.11 - Tê.

- Válvulas de seccionamento para permitirem o isolamento de qualquer setor da rede em caso de avaria. É, assim, necessário localizarem-se e protegerem-se devidamente;



Figura 2.12 - Válvula de seccionamento.

- Válvulas de descarga com vista ao esvaziamento de troços de condutas e de partes de redes de distribuição. Devem colocar-se nos pontos baixos das condutas, entre válvulas de seccionamento, para se proceder à limpeza, desinfecção ou reparação;



Figura 2.13 - Válvula de descarga.

- Válvulas redutoras de pressão para limitarem as pressões na rede para valores aconselháveis;



Figura 2.14 - Válvula redutora de pressão.

- Ventosas localizadas nos pontos altos com a finalidade de admissão ou expulsão de ar da conduta.



Figura 2.15 - Ventosa.

Nos SAAG existem outros tipos de acessório, no entanto estes são de importância menor para a situação que será analisada, daí não serem referidos.

2.7. RECUPERAÇÃO DA ENERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A necessidade de reduzir o consumo de energia à escala global dita a necessidade de cada país desenvolver políticas energéticas capazes de cumprir metas. Tendo por base o compromisso assumido pelos países da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto, os Estados Membros mobilizaram-se no sentido de adotar modelos energéticos que permitam alcançar um melhor desempenho no setor, não sendo Portugal exceção. Assim, esta experiência vai ao encontro de algumas linhas de ação da Política Energética Nacional, tais como ter em conta a energia no desenvolvimento sustentável, reduzir a intensidade energética, liberalização de mercado energético, aumentar a diversidade energética, promover a eficiência energética em 20%, promover as energias renováveis em 20%, redução de gases que promovem o aumento do efeito de estufa, nomeadamente o CO₂ em 20% até 2020 [9].

Na área do abastecimento de água e saneamento de águas residuais, o grupo de Águas de Portugal (AdP) atua em todas as fases do ciclo urbano da água, integrando a captação, o tratamento e a distribuição de água para consumo público e a recolha, o tratamento e rejeição residuais urbanas e industriais, incluindo a sua reciclagem e reutilização. De acordo com o relatório de Sustentabilidade de 2013 do grupo AdP, em 2013 foram consumidos 701,055 MW.h de energia sob a forma de eletricidade. Atualmente existem 68 instalações consumidoras intensivas de energia nas empresas operacionais, 85% das quais pertencem ao setor de abastecimento e saneamento. Neste os consumos de eletricidade são mais elevados devido à necessidade de elevação da água e água residual. O aproveitamento dos ativos e recursos endógenos permite a produção de energias alternativas, contribuindo para a descentralização da produção de energia elétrica e de combustíveis, utilizando fontes de energia não fósseis. As empresas de gestão de resíduos são as que mais contribuem para a produção de energias de fontes renováveis [9].

Em sistemas de abastecimento de água torna-se necessário a existência de válvulas redutoras de pressão (VRP) de maneira a controlar a pressão máxima na rede, através de uma perda de energia localizada. Esta redução de pressão pode ser obtida através da colocação de turbinas ou bombas a funcionar como turbinas na zona onde se colocariam as VRP's e teria a vantagem de se produzir energia elétrica.

Atualmente, o abastecimento e a conversão de energia procuram soluções cada vez mais eficientes, tanto a nível económico como ambiental. Neste sentido, a instalação de micro-turbinas nas redes de abastecimento de água surge como uma solução quer na produção de energia elétrica, quer na otimização dos sistemas de abastecimento de água, convergindo, simultaneamente, com a Política Energética Nacional.

Para esse efeito é necessário conceber sistemas eficientes, não poluidores, económicos e diversificados que permitam uma gestão integrada e racionalizada de um recurso tão escasso como é a água. Noutro sentido, a própria rede de abastecimento em Portugal é deficiente, uma vez que existe um consumo energético excessivo associado à bombagem e pressões desadequadas ao longo da rede. Este consumo energético adicional representa uma grande fatura podendo ser corrigido com a otimização da rede e com a reconversão de energias perdidas [10].

2.8. METODOLOGIA DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA DESCENTRALIZADA

A água e a energia elétrica são essenciais para a sobrevivência e realização das atividades comerciais de uma sociedade. A energia consumida a nível mundial em hidroelétricas é cerca de 7% da energia produzida. Atualmente, devido ao aumento da distância entre a população e os locais de captação de água, houve a necessidade de criar-se novas obras para corresponder ao novo volume de água consumido pela população em crescimento. Ao mesmo tempo o consumo per capita (por indivíduo) quadruplicou nos últimos 50 anos e está previsto que este valor continue a aumentar nos próximos anos. Com as preocupações reais sobre o desenvolvimento sustentável, a melhoria de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água deve ser de grande importância [11].

A água e os recursos energéticos são fundamentais para a existência Humana, tendo sido criado regulamentos que incidem sobre a economia, as tecnologias e as utilizações, para que estas funcionem de forma sustentável. É estimado que 2 a 3% de todo o consumo de eletricidade seja usado em GEB inseridos em sistemas de abastecimento de água, cerca de 80-90% deste consumo é absorvido pelos GEB. Este custo representa o maior custo no funcionamento dos sistemas de abastecimento de água

A implementação de Grupos Geradores, que funcionam através da energia potencial, transformando a energia da água em energia elétrica e permitindo uma diminuição do custo relacionado com o investimento inicial da construção dos sistemas de abastecimento. Este tipo de solução é aplicável sempre que existe uma orografia que possibilite a existência de valores para a energia potencial «aceitáveis», minimizando custos na instalação de válvulas para reduzir a pressão e permitindo a obtenção de receita na venda da energia elétrica fornecida.

Existem vários parâmetros que influenciam a eficiência da produção de energia, merecendo destaque: as perdas de água e o consequente não redirecionar desta para a produção de energia elétrica; este parâmetro, quando otimizado, possibilita um aumento da receita na exploração do empreendimento. Estas perdas são normalmente verificadas nas captações, no transporte e na retenção da água (câmaras de carga). A distribuição da água deve estar em conformidade com as necessidades do consumo doméstico, com uma boa qualidade e em quantidade proporcional às utilizações.

O termo “eficiência” está relacionado com o melhor uso do recurso disponível (material no estado natural, recursos financeiros, etc.), expressando uma interligação entre o desempenho do processo físico e das diversas utilizações do recurso. “Genericamente a eficiência é expressa pelo rácio entre o efeito útil que sai e os recursos necessários na produção”. A redução da necessidade de manutenção pode ser conseguida com uma redução no número de vezes que se liga vs. desliga os Grupos Eletrobomba (GEB). Porém se estes acionamentos forem bem controlados podem representar uma eficiência energética de 10-20% da energia total utilizada. As melhorias na eficiência energética em sistemas de abastecimento (e consequente distribuição) podem ser melhoradas através de monitorização das fugas no transporte da água, da gestão dos GEB e da gestão dos Grupos Geradores (GG). Com um controlo do armazenamento e produção (respetivamente) em tempo real. Porém é de notar que estes sistemas de abastecimento já podem satisfazer estes requisitos, respondendo à otimização dos caudais para as diferentes utilizações. Por esta razão, a modelação computadorizada é uma ferramenta auxiliar importante para os estudos de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água [11].

2.9. ENERGIA EM CENTRAIS MINI-HÍDRICAS

Entre os finais do século XIX e os princípios do século XX, instalaram-se muitas centrais hidroelétricas com potências compreendidas entre algumas dezenas e poucos milhares de quilowatts, precisamente o domínio de potências que hoje levaria a classificá-las como pequenas centrais hidroelétricas, ou, na linguagem corrente, centrais mini-hídricas (CMH).

Os progressos entretanto verificados na transmissão da energia elétrica permitiram que os países alta e medianamente industrializados passassem a estar cobertos por redes elétricas densamente malhadas. Esta circunstância, aliada ao facto de as reservas de combustíveis fósseis de fácil extração serem consideradas como praticamente inesgotáveis, e serem em número apreciável os locais com condições favoráveis à instalação de grandes aproveitamentos hidroelétricos, levou a que a produção de energia elétrica se concentrasse em poucas centrais de elevada potência instalada, beneficiando da inerente economia de escala.

Como consequência da evolução registada, tanto o investimento unitário, como as despesas de operação e manutenção por unidade de energia produzida nos aproveitamentos hidroelétricos de baixa potência, sofreram agravamentos inoportáveis, o que levou à sua progressiva degradação e mesmo ao encerramento de muitas unidades.

A partir dos choques petrolíferos de 1973 e, principalmente, de 1981, o quadro de referência mudou substancialmente: aumentou o valor da energia, os melhores locais para instalação de centrais hidroelétricas de grande porte já estavam tomados, os progressos verificados na automação permitiram reduzir drasticamente as despesas de exploração. É nesta perspetiva que se insere o renovado interesse pelas CMH, verificado a partir da década de oitenta.

De entre as fontes de energia elétrica descentralizadas, a mini-hídrica era aquela que reunia as condições para um desenvolvimento mais rápido. Por um lado, a tecnologia nacional podia dar um contributo maior, porque beneficiava da experiência e conhecimento acumulados na área dos recursos hidroenergéticos. Por outro lado, o recurso hidrológico português estava razoavelmente bem estudado, fruto de campanhas de medição, conduzidas ao longo de vários anos, nos principais cursos de água.

Foi como fontes de produção descentralizada que se desenvolveu a instalação de CMH, entregando à rede pública a maior parcela de energia que era possível extrair da água. Uma das razões para isso, prendeu-se com o facto de as CMH constituírem fontes de energia regular, pelo que não era de esperar que a sua interligação com o sistema electroprodutor nacional introduzisse perturbações no funcionamento deste. Outra razão pode ser encontrada na baixa utilização anual e na precária garantia de fornecimento de energia, características do funcionamento das CMH em rede isolada [12].

A designação central mini-hídrica generalizou-se em Portugal para designar os aproveitamentos hidroelétricos de potência inferior a 10 MW. Este limite é geralmente usado internacionalmente como fronteira de separação entre as pequenas e as grandes centrais hidroelétricas. As primeiras, devido ao seu impacto ambiental diminuto, são consideradas centrais renováveis. As segundas, embora usem um recurso renovável, produzem efeitos não desprezáveis sobre o ambiente, pelo que a sua classificação como centrais renováveis é problemática [12].

Para as centrais mini-hídricas, a União Internacional dos Produtores e Distribuidores de Energia Elétrica – UNIPED recomenda a classificação em função da potência instalada:

- Pequena central hidroelétrica - <10 MW
- Mini central hidroelétrica - <2 MW
- Micro central hidroelétrica - <0,5 MW

Estas podem também ser classificadas em à queda, sendo a classificação feita da seguinte forma:

- Queda baixa – $2\text{m} < H_u < 20\text{m}$
- Queda média – $20\text{m} < H_u < 150\text{m}$
- Queda alta – $150\text{m} < H_u$

Na Figura 2.16, apresentam-se os principais elementos que constituem um aproveitamento.

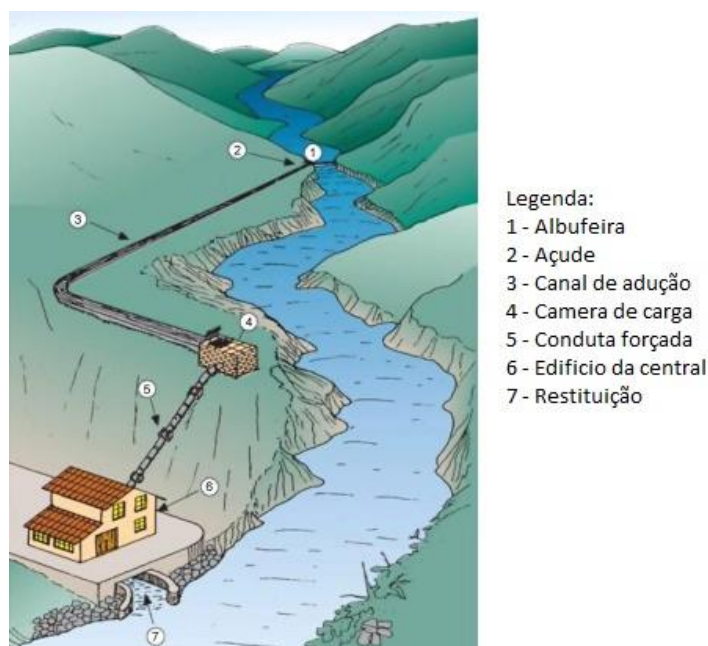


Figura 2.16 - Principais Elementos de um Aproveitamento.

Este tipo de produção elétrica torna-se vantajoso devido ao facto de serem energias limpas, que nos dias que correm, cumprem o objetivo da redução da emissão de gases com efeito de estufa. Estes têm também outras vantagens como, a grande fiabilidade dos equipamentos, bem como a necessidade de áreas reduzidas para a sua implementação.

2.10. LIGAÇÃO À REDE DAS CENTRAIS MINI-HÍDRICAS

Com base no trabalho desenvolvido por Barbosa, 2017, conclui-se que a ligação das centrais à rede é um processo complexo, pois este requer a intervenção de várias entidades públicas ligadas a dois ministérios sendo elas: a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), I.P. (que agrega as Administrações de Região Hidrográfica (ARH)) e as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), que integram o Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território; e a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e as Direções Regionais de Economia (DRE), que integram o Ministério da Economia e do Emprego. As entidades do Ministério do Ambiente promovem a vistoria final para a verificação da implementação do projeto aprovado, incluindo o que se refere a medidas ambientais, enquanto as ligadas ao Ministério da Economia emitem a licença de exploração após a vistoria especificamente efetuada para este efeito.

Para além das entidades referidas anteriormente, o processo necessita também da participação de um laboratório credenciado para “auditoria tipo I” (que procede à certificação do sistema de contagem), bem como algumas empresas do grupo EDP, que verificam as proteções da interligação, confirmam o primeiro paralelo com a rede, celebram o auto de ligação, atribuem o código do ponto de entrega e subscrevem com o produtor o contrato de compra de energia produzida.

No fluxograma da Figura 2.17 é apresentado, de forma sucinta, o procedimento para a ligação à rede das centrais mini-hídricas e respetivos intervenientes [10].



Figura 2.17 - Intervenções para colocação em serviço das CMH [10].

Como se pode constatar, este é um processo bastante moroso. Ainda assim existe a possibilidade de introduzir melhorias de carácter operacional na interligação das CMH com a rede pública de distribuição, de forma a facilitar o processo, trazendo assim vantagens para o distribuidor, produtores e consumidores.

3

EQUIPAMENTOS E ÓRGÃOS DE CONTROLO

3.1. INTRODUÇÃO

Para a produção de energia tendo a água como recurso, são necessários equipamentos que podem ser de vários tipos, e que serão descritos ao longo deste capítulo.

Estes equipamentos situar-se-ão preferencialmente em locais onde existem Válvulas Redutoras de Pressão (VRP), locais estes onde existe uma grande perda de energia induzida por estas.

As turbomáquinas têm como elemento fundamental a roda ou rotor (no caso das bombas também designado impulsor), e a sua designação vem do latim, onde turbo significa movimento circular.

As turbomáquinas podem subdividir-se nos seguintes tipos:

- Turbomáquinas motoras, turbinas, que recebem energia mecânica do líquido, tornando-a disponível no veio (mediante um binário e uma velocidade angular);
- Turbomáquinas recetoras, bombas, que transferem para o líquido energia mecânica recebida do exterior;
- Turbomáquinas transmissoras, transmissões hidráulicas, que transmitem energia mecânica de um veio para o outro (e são normalmente constituídas pela associação de uma turbomáquina recetora e uma motora).

Em instalações hidráulicas, cujo objetivo principal consiste na elevação ou transporte de água a grandes distâncias, utilizam-se vários tipos de máquinas hidráulicas nomeadamente turbomáquinas, rodas de água, bombas de êmbolo, carneiros hidráulicos e ejetores [13].

Ao longo deste capítulo será dada especial atenção a turbomáquinas hidráulicas, em especial a turbinas e a turbinas-bombas que são os equipamentos que melhor se adaptam ao caso de estudo. Estes equipamentos transformam a energia potencial em energia cinética, que por sua vez é transferida para um gerador, produzindo energia elétrica.

3.2. VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO

As válvulas redutoras de pressão (VRP) tem como principal função limitar a pressão a jusante. Existem diversos tipos de VRP, sendo as mais comuns as de pistão, de mola e de diafragma.

Genericamente, o princípio de funcionamento de uma VRP consiste em acionar um dispositivo de obturação sempre que a pressão a jusante for demasiado elevada, de forma a aumentar a perda de carga localizada no sistema, reduzindo o valor da pressão até ao valor pretendido (valor designado por carga

de definição da válvula redutora de pressão (H_{vrp}). Se por outro lado, a pressão a jusante descer demasiado, a VRP abre, diminuindo a perda de carga, fazendo a linha de energia subir, o que resulta no aumento da pressão a jusante. Desta forma, pode-se considerar três tipos de funcionamento:

- A válvula provoca uma perda de carga localizada reduzindo a pressão a jusante, designando-se por estado ativo da válvula.
- Se a pressão a montante for insuficiente e inferior à carga de definição da VRP, a válvula abre totalmente, mantendo a montante e a jusante a mesma pressão a menos da perda de carga localizada introduzida pela válvula aberta designado por estado passivo com a válvula aberta. Por forma a minimizar a perda de carga localizada intrínseca à válvula aberta, a válvula deverá ser dimensionada de modo que a sua capacidade, para a abertura total, seja superior ao caudal de dimensionamento do sistema.
- Sempre que, por qualquer razão, a pressão a jusante seja superior à pressão a montante, a válvula fecha totalmente funcionando como uma válvula de retenção que impede a inversão do sentido do escoamento, caracterizando assim o estado passivo da válvula fechada (Figura 3.2) [14].

Na Figura 3.1 pode-se ver os três tipos de VRP's mencionadas anteriormente.

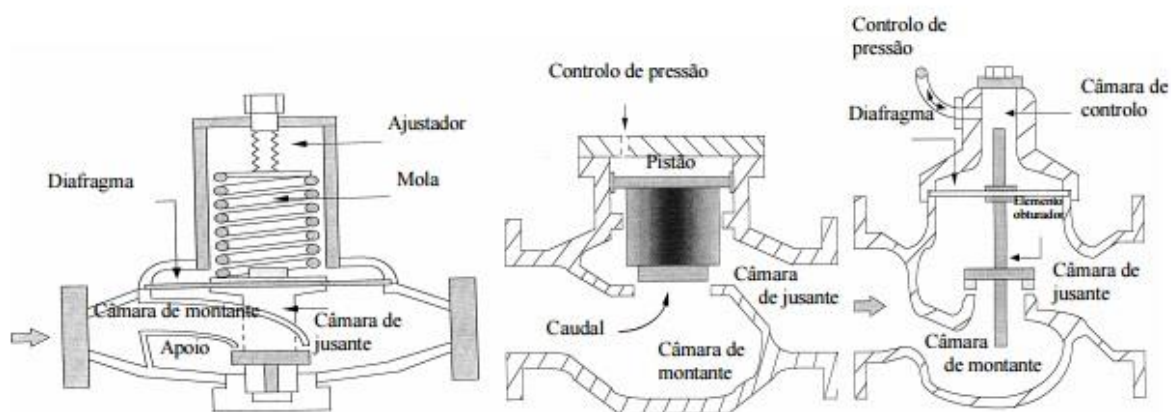


Figura 3.1 - Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão [14].

A Figura 3.2, que será apresentada de seguida, mostra o funcionamento das VRP's para os casos apresentados.

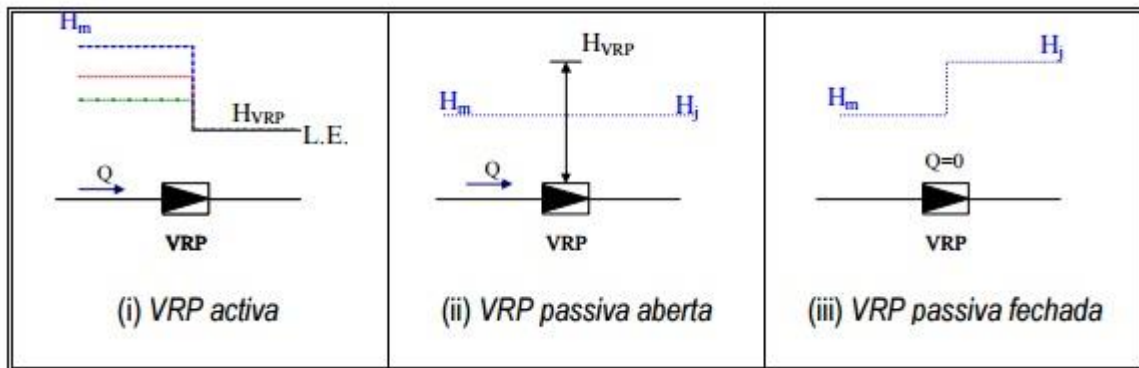


Figura 3.2 - Tipos de Funcionamento das VRP's [14].

As VRP's podem ser controladas mecânica ou eletronicamente, de modo a funcionarem para diversos patamares de pressão, definidos consoante as variações de consumo, de forma a existir uma gestão mais eficiente dos níveis de serviço, bem como para um melhor aproveitamento hidráulico do sistema.

Genericamente, existem quatro tipos de funcionamento das VRP's, sendo estes descritos nos pontos a seguir e exemplificados na Figura 3.3:

- i. VRP com carga constante – a válvula reduz e estabiliza a pressão a jusante da mesma, mantendo a pressão constante e igual a um determinado valor (H_{vrp}), qualquer que seja o valor a montante e o débito de caudal no sistema.
- ii. VRP com queda constante – a válvula reduz a pressão a jusante da mesma, mediante a introdução de uma perda de carga localizada constante, independentemente da pressão a montante, pelo que a pressão a jusante da válvula varia com a pressão a montante, mantendo constante o diferencial entre ambas.
- iii. VRP com carga constante variável no tempo – o comportamento deste sistema é semelhante ao caso (i), no entanto, a pressão é mantida constante em intervalos, pré-definidos no tempo, variando de intervalo em intervalo.
- iv. VRP com carga ajustável automaticamente em função da variação dos consumos – a válvula reduz a pressão a jusante em função do caudal debitado ou da variação de pressão em secções críticas da rede (secções com pressões mais baixas). Caso a pressão seja regulada pelo caudal, a válvula tem de estar munida de um medidor de caudais, para que qualquer variação do caudal, seja acompanhada pela respetiva variação de pressão a jusante [14].

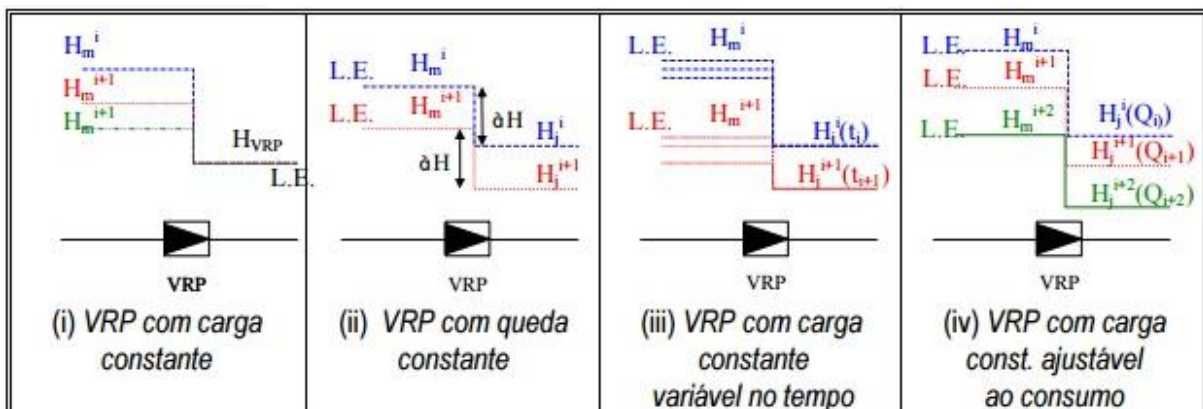


Figura 3.3 - Funcionamento ativos de diferentes sistemas de VRP [14].

3.3. TIPOS DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

3.3.1. INTRODUÇÃO

Como foi referido no ponto 3.1 e 3.2, as válvulas redutoras de pressão induzem uma perda de energia no escoamento. A dissipação de energia é necessária para regular as pressões na rede, de modo a não serem excedidos os limites de pressão admissíveis nas condutas a jusante.

Esta energia pode ser aproveitada por outro tipo de equipamentos, que para além de induzirem uma perda de carga, utilizam essa energia que é dissipada para a produção de eletricidade.

3.3.2. TURBINAS PELTON

Este tipo de turbina foi concebida em 1879, por Lester Pelton. As turbinas Pelton estão associadas a caudais reduzidos e quedas elevadas e apresentam eficiências que podem alcançar os 90%.

São turbinas de ação porque utilizam a velocidade do fluxo de água para provocar o movimento de rotação. A sua constituição física consiste numa roda circular que na sua periferia possui um conjunto de copos ou conchas sobre os quais incide, tangencialmente, um ou mais jatos de água dirigidos por um ou mais injetores distribuídos de forma uniforme na periferia da roda. A água após incidir com as conchas abrande e cai a velocidades bastante baixas na restituição. A potência mecânica fornecida por estas turbinas é regulada pela atuação nas válvulas de agulha dos injetores.

Estas turbinas podem ser de eixo vertical ou horizontal e são utilizadas em aproveitamentos hidroelétricos caracterizados por pequenos caudais e elevadas quedas úteis. São turbinas caracterizadas por terem um baixo número de rotações [15].

Em grandes aproveitamentos, este tipo de turbinas só é considerado para quedas superiores a 150 m. No entanto, em pequenos aproveitamentos, já são tidas em conta para pequenas quedas. Como exemplo tem-se que uma turbina Pelton de reduzido diâmetro, a alta velocidade de rotação é capaz de produzir 1kW num aproveitamento com uma queda inferior a 20 m.

A nível de segurança das estruturas hidráulicas, este tipo de equipamentos mostra-se bastante eficiente. No caso de haver uma necessidade de paragem de emergência da turbina, por exemplo, caso haja uma perda súbita de carga, o jato de água é redirecionado por um defletor impedindo que este atinja as conchas, Figura 3.4. Isto permite que o fecho das válvulas em agulha seja feito lentamente de maneira a que as pressões na conduta não excedam valores aceitáveis, tendo como valor de referência 1.15 vezes a pressão estática, reduzindo assim os efeitos negativos do choque hidráulico [16].

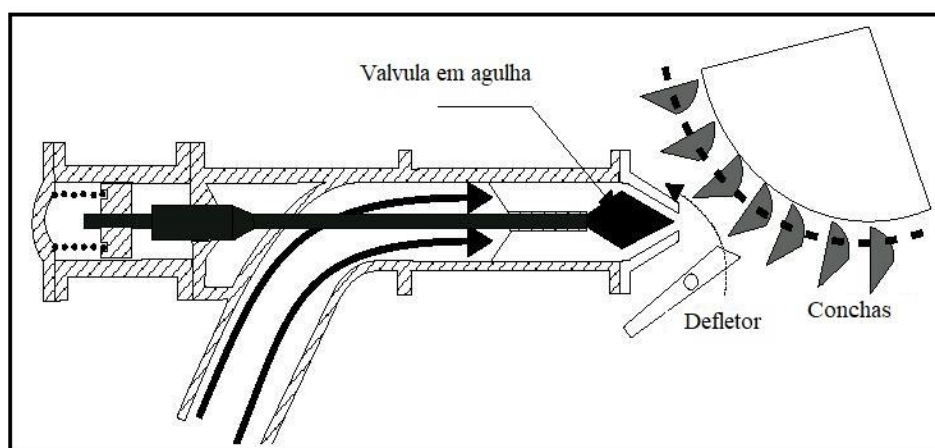


Figura 3.4 - Representação de uma Válvula de Agulha e do Defletor. Adaptado de [17].

A Figura 3.5, apresenta um exemplo esquemático do funcionamento deste tipo de turbomáquina.

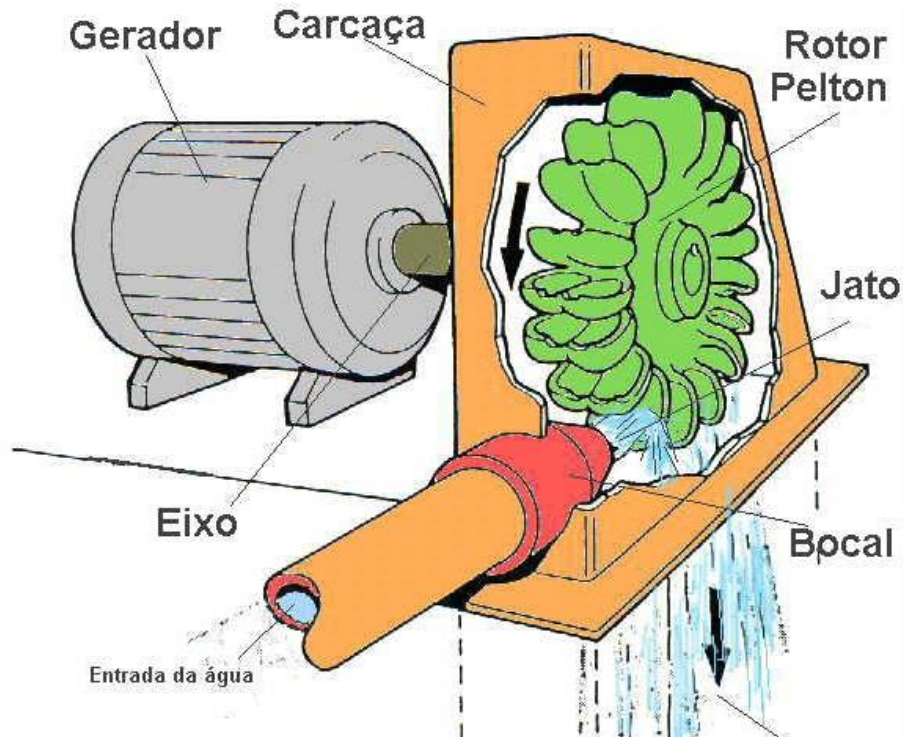


Figura 3.5 - Funcionamento de uma Turbina Pelton [18].

Como se observa na imagem anterior, existe um bocal na extremidade da conduta. A força que a água exerce sobre a roda é dado pela expressão 3.1. Como se pode verificar, a força é proporcional ao quadrado da velocidade o que viabiliza a redução da secção através do bocal, aumentando assim a velocidade do escoamento e aumentando consequentemente a força.

$$F = \rho S U^2 \quad (3.1)$$

em que,

F – Força

S – Área do escoamento

U – Velocidade do escoamento

ρ – Massa volúmica

De salientar que este tipo de equipamentos apenas fará sentido quando colocado à entrada de um reservatório ou caso existam no sistema câmaras de perda de carga, visto que, a água após passar pelo rotor fica à pressão atmosférica.

3.3.3. TURBINAS FRANCIS

Em 1849 James B. Francis criou a turbina Francis, sendo hoje o tipo de turbinas mais utilizados a nível mundial. As turbinas Francis estão associadas a caudais médios e quedas médias e apresentam eficiências que podem alcançar os 90%.

A forma e as dimensões das rodas variam com a queda de altura útil. Para grandes quedas, o diâmetro de entrada da roda é bastante superior ao diâmetro de saída, sendo reduzida a componente axial da velocidade de água. À medida que a altura de queda diminui, a componente axial vai aumentando, diminuindo o diâmetro de entrada em relação ao de saída.

São turbinas de reação porque o escoamento na zona da roda se processa a uma pressão inferior à pressão atmosférica.

Esta turbina é caracterizada por ter uma roda formada por uma coroa de aletas fixas, constituindo uma série de canais hidráulicos que recebem a água radialmente e a orientam para a saída do rotor numa direção axial. É constituída por uma câmara espiral ou evoluta (podendo ser aberta ou fechada com uma forma de espiral) com a finalidade de garantir a uniformidade do escoamento à entrada do rotor em toda a sua periferia. É constituída por um distribuidor composto por uma roda de alhetas fixas ou móveis que regulam o caudal e o tubo de saída da água. O distribuidor permite, para além do controle da entrada de água, regular a potência mantendo a velocidade constante. Permite também fechar a admissão de água caso seja necessário parar a central [19].

Estas turbinas utilizam-se em quedas úteis superiores aos 20 m, e possuem uma grande adaptabilidade a diferentes quedas e caudais.

Nos pequenos aproveitamentos instalam-se turbinas Francis de eixo horizontal, permitindo assim um acoplamento mais fácil ao gerador [16].

Na Figura 3.6 pode-se ver uma representação deste tipo de turbina.

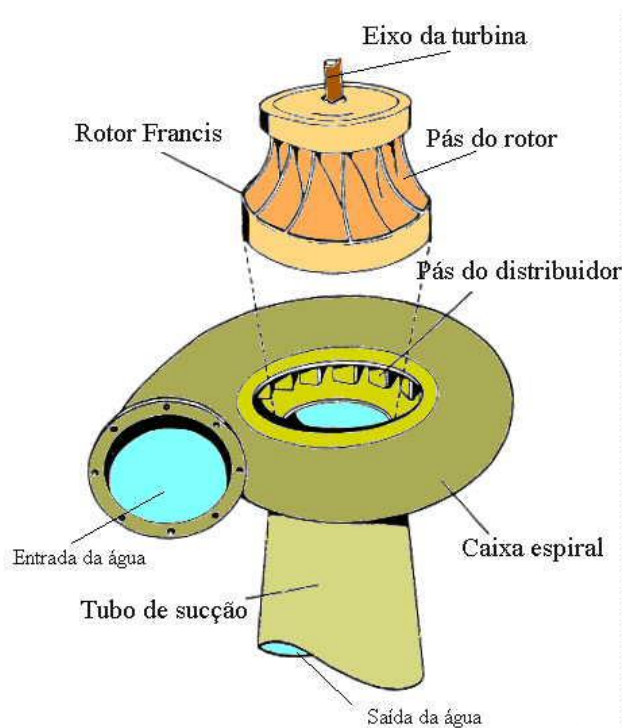


Figura 3.6 - Esquema e legenda dos componentes de uma Turbina Francis [18].

Estas turbinas, relativamente às turbinas Pelton, tem um rendimento máximo superior, atingem maiores velocidades e são de menores dimensões.

3.4. BOMBAS-TURBINAS

A utilização de bombas a funcionar como turbinas, em sistemas de transporte de água, nomeadamente, abastecimento de água a populações ou rega, pode ser uma alternativa valiosa para a produção de energia elétrica.

Quando uma bomba induz uma certa energia a um escoamento, é necessário que essa quantidade promova o bombeamento do fluido, o que em alguns casos pode não acontecer, levando a uma rotação inversa da roda e, conseqüentemente, alteração do sentido do escoamento. A esta situação de funcionamento inverso de uma bomba, denomina-se PAT (Pump as Turbine), que significa bomba a funcionar como turbina. Se a energia, manifestada como pressão, for suficiente para superar o binário da roda e do veio, então esse binário pode ser usado como gerador transmitindo o momento para o eixo.

Comparando as PAT com as turbinas convencionais, estas não possuem um distribuidor, por isso não é possível regular a máquina para manter as condições ideais de eficiência. Isto é uma particularidade em redes de distribuição, onde as variações diárias de fluxo e de queda disponível são relevantes [20].

Este tipo de solução é vantajosa devido ao facto de ser mais económica em relação à utilização de turbinas. Em contrapartida este tipo de solução apresenta rendimentos mais baixos comparativamente com as turbinas, mas para pequenos aproveitamentos será uma opção a ter em conta.

A solução mais comum é o acoplamento da bomba a um gerador para produzir energia elétrica, mas pode-se aproveitar o binário disponível no veio para acionar qualquer outra máquina.

Na Figura 3.7 pode-se ver como funciona este tipo de equipamento, tanto a funcionar como bomba e também como turbina [21].

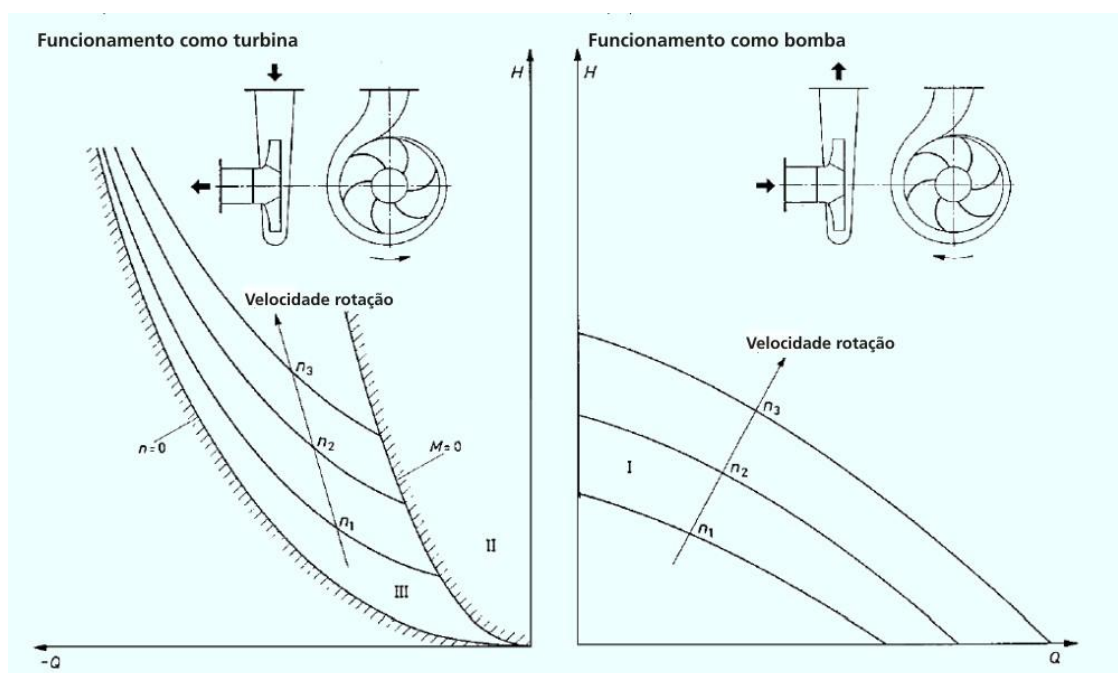


Figura 3.7 - Funcionamento de uma Bomba-Turbina [21].

4

ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é efetuada uma descrição concisa quanto à organização do sistema elétrico nacional, o sistema elétrico independente e da produção elétrica em regime especial. É também feita uma caracterização do regime legislativo da micro/mini produção e da sua transposição para a legislação atual, ou seja, o regime de produção distribuída.

4.2. ORGANIZAÇÃO LEGISLATIVA

4.2.1. ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

O sistema elétrico nacional (SEN) encontra-se dividido em dois subsistemas, o sistema elétrico de abastecimento público (SEP) e o sistema elétrico independente (SEI).

O SEP tem uma função de serviço público, segundo o princípio da uniformidade tarifária no território continental. É composto por centrais vinculadas e por operadores públicos distintos para o transporte e distribuição [16].

O SEI compõe-se também por dois subsistemas:

- O Sistema Elétrico Não Vinculado (SENV), que está estruturado segundo uma lógica de mercado. Neste subsistema, produtores não vinculados e clientes elegíveis estabelecem contratos bilaterais, estando o acesso às redes garantido na legislação;
- A Produção em Regime Especial (PRE), engloba a produção de energia elétrica em centrais hidroelétricas com potência instalada até 10 MVA, em centrais que usam outros recursos renováveis e em centrais de cogeração. Este subsistema é regido por legislação específica [16].

Assim sendo, a Figura 4.1 mostra de forma esquematizada, como está organizado o sistema elétrico nacional.

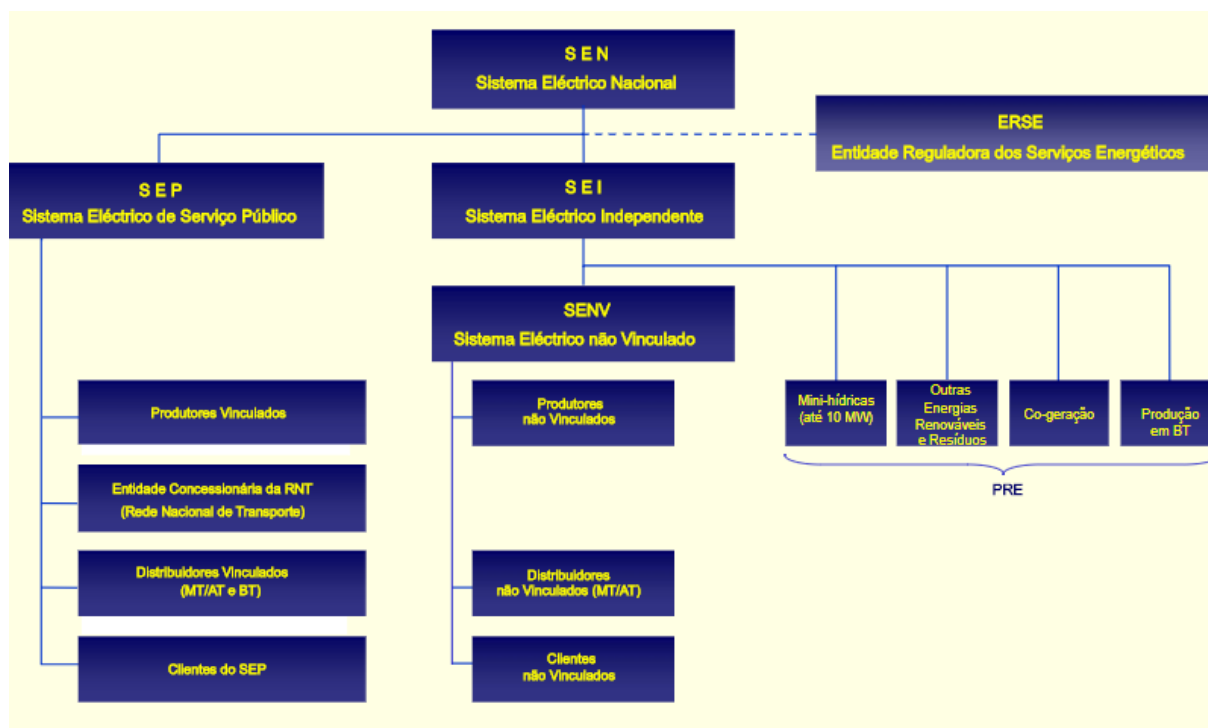


Figura 4.1 - Organização do sistema elétrico nacional [22].

4.2.2. PRODUÇÃO EM REGIME ESPECIAL

Considera-se produção em regime especial (PRE) a produção de energia elétrica através de recursos endógenos, renováveis e não renováveis, de tecnologias de produção combinada de calor e de eletricidade (cogeração) e de produção distribuída.

As vantagens ambientais e a diminuição da dependência externa têm justificado a existência, há já vários anos, de um regime de apoio à PRE. Em consequência deste regime, a evolução da energia entregue à rede deste tipo de produção tem sido muito significativa, com especial destaque para a produção eólica e para a cogeração. Em 2014, a PRE contribuiu em cerca de 45% para a satisfação do consumo (valor que sobe para cerca de 75% se forem contabilizados também os grandes aproveitamentos hidroelétricos).

A definição da política energética em Portugal é da responsabilidade do Governo, nomeadamente através da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Porém, no domínio da PRE, existem algumas matérias sobre as quais a ERSE detém competências atribuídas legalmente, designadamente no âmbito dos custos induzidos nas tarifas, da influência na formação dos preços no mercado, do impacto no planeamento e exploração das redes elétricas e da rotulagem de energia elétrica. Decorre destas competências a necessidade de acompanhamento da evolução da PRE por parte da ERSE, no âmbito da qual se publica a presente informação.

Faz-se notar que a informação publicada é disponibilizada à ERSE pelas empresas com a obrigação legal de aquisição desta produção, circunscrita ao subconjunto da PRE com remuneração por tarifa fixada administrativamente, em Portugal continental e nas regiões autónomas dos Açores e da Madeira [22].

Em síntese, no quadro legal vigente é considerada PRE a produção de energia elétrica:

- Com base em recursos hídricos para centrais até 10 MVA e em alguns casos até 30 MW;
- Que utilize outras fontes de energia renovável;
- Com base em resíduos (urbanos, industriais e agrícolas);

- Em baixa tensão, com potência instalada limitada a 150 kW;
- Por microprodução, com potência instalada até 5,75 kW;
- Através de um processo de cogeração.

Algumas potencialidades da miniprodução (DL n.º 34/2011, de 8 de março)

- Produção descentralizada de pequena escala até 250 kW;
- Fontes renováveis (solar, eólica, hídrica, biogás, biomassa e pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de miniprodução renovável);
- Potência máxima inferior a 50% da potência contratada na unidade de consumo. A energia produzida não pode ser superior a duas vezes a energia consumida na unidade associada;
- Toda a energia produzida e vendida à rede (CUR);
- Dois Regimes remuneratórios:
 - a) Geral (“pool”);
 - b) Bonificado (FiT atribuída em leilão);
- 3 Escalões: I → até 20 kW, II → 20 kW - 100 kW e III → 100 kW - 250 kW;
- Potência anual atribuída com quota máxima;
- Realização de auditoria energética.

Na Região Autónoma dos Açores a produção tendo por base energias renováveis ou cogeração, não se encontra ao abrigo de uma legislação específica como em Portugal Continental. Estes produtores são considerados produtores independentes com quem a EDA estabeleceu contratos de aquisição de energia elétrica. Nestes contratos, o preço tem por base o preço médio verificado em Portugal Continental em 2002 para a produção em regime especial.

Na Região Autónoma da Madeira tem vindo a ser seguido o enquadramento legal de Portugal continental, nomeadamente em termos de tarifário aplicável às vendas à rede de energia elétrica das instalações em regime especial.

Para efeitos de rotulagem da energia elétrica, há a considerar que a energia da PRE em Portugal Continental não é atribuída na sua totalidade ao comercializador de último recurso, uma vez que o seu sobrecusto é suportado por todos os consumidores, independentemente do comercializador. O sobrecusto da cogeração e da microprodução é distribuído por todos os clientes, na proporção do seu consumo [22].

4.2.3. REGIME DE PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA

4.2.3.1. Atual Enquadramento Legislativo

Em 2007 foi publicado um decreto de lei (dl nº 363/2007, de 2 de novembro) que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por instalações de pequena potência, designadas por unidades de microprodução.

Algumas das potencialidades da microprodução que advém deste documento são:

- Produção descentralizada de pequena escala através de fontes renováveis até 3,68 kW (bonificado), 5,75 kW (regime geral) e 11,04 kW (condomínios);
- Potência máxima correspondente a 50% da potência contratada na unidade consumo associada;
- Energia produzida e vendida à rede de Comercializadores de Último Recurso (CUR);
- Dois regimes remuneratórios:
 - a) Geral → tarifa revista anualmente à inflação até entrada de novo diploma;

b) Bonificado → Tarifa fixa atribuída por registo;

- Instalação de pelo menos 2 m² de coletores solares térmicos ou caldeira a biomassa;
- Realização de auditoria energética e implementação de medidas para condomínios.

4.2.3.2. Objetivos da Revisão Legislativa

A atividade de produção descentralizada de energia elétrica é atualmente regulada pelo Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, através de unidades de miniprodução, e pelo Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, alterado pela Lei n.º 67-A/2007, de 31 de dezembro e pelos Decretos-Lei n.º 118-A/2010, de 25 de outubro, e 25/2013, de 19 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução.

Estes regimes, embora pressupondo que a atividade de produção deve estar associada a uma instalação de utilização de energia elétrica com consumo efetivo e a um contrato de fornecimento de eletricidade celebrado com um comercializador, permitem a entrega total da energia produzida nas respetivas unidades à rede elétrica de serviço público (RESP), a qual é remunerada através do regime geral ou do regime bonificado.

A produção descentralizada através de unidades de miniprodução e de microprodução têm demonstrado, no entanto, que a evolução tecnológica permite hoje em dia desenvolver projetos com recurso a menor investimento, o que, naturalmente, tem justificado a adequação da respetiva remuneração da energia proveniente destas unidades de produção.

O regime da pequena produção permite ao produtor vender a totalidade da energia elétrica à RESP com tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no âmbito do qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência, eliminando-se o regime remuneratório geral previsto nos anteriores regimes jurídicos de miniprodução e de microprodução. Quando não enquadrada no regime remuneratório aplicável à pequena produção, a unidade de produção deverá ser objeto de controlo prévio e atribuição de remuneração nos termos do regime jurídico da produção de eletricidade em regime especial.

Estabelece-se assim, o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, adiante designadas por «Unidades de Produção para Autoconsumo» (UPAC).

O Decreto-lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, veio adequar o atual modelo de geração distribuída ao perfil de consumo verificado no local. Este diploma incentiva a sobre capacidade das instalações face ao nível de consumo instantâneo verificado no local e promove igualmente sobrecusto no Sistema Elétrico Nacional (SEN). Assim, os objetivos deste regime são fundamentalmente os seguintes:

- Dinamizar a atividade de produção distribuída em Portugal, assegurando a sustentabilidade técnica e económica do SEN, e evitando possíveis sobrecustos para o sistema;
- Garantir o desenvolvimento ordenado da atividade, possibilitando a injeção de excedentes nas Redes de Sistema Elétrico de Serviço Público (RESP) (bem de interesse público, que requer uma utilização adequada);
- Garantir que as novas instalações de produção distribuída sejam dimensionadas para fazer face às necessidades de consumo verificadas no local;
- Reduzir a vertente de “negocio” associada ao atual regime de microprodução, que motiva o sobredimensionamento das centrais e o consequente sobrecusto para o SEN;
- Simplificar o modelo da “mini + microprodução”, assegurando que entidades com perfis de consumo menos constante possam enquadrar-se no regime de produção distribuída.

As principais diferenças entre autoconsumo e pequena produção são apresentadas na Figura 4.2 e Figura 4.3.

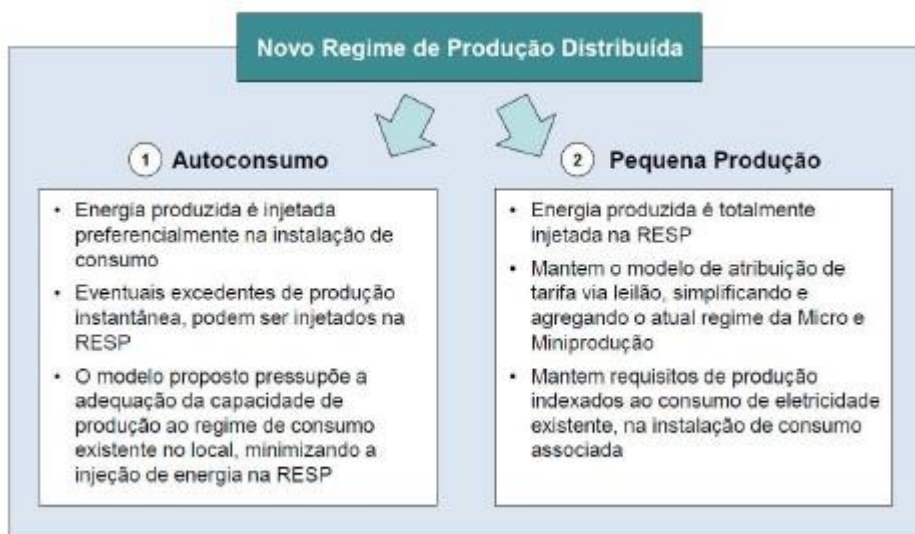


Figura 4.2 - Principais diferenças entre autoconsumo e pequena produção [23].

	Autoconsumo	Pequena Produção
Fonte	• Renovável e Não Renovável	• Renovável
Limite Potência	• Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo	• Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo • Potencia de ligação até 250 KW
Requisitos Produção	• Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo • Venda do excedente instantâneo ao CUR	• Produção anual < 2x consumo da instalação • Venda da totalidade da energia ao CUR
Remuneração	• Valor da mercado para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos • Numa base anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não é remunerado	• Tarifa obtida em leilão para totalidade da produção • Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de 2x consumo da instalação não é remunerado
Compensação	• 0%, 30% ou 50% do respectivo valor dos CIEG quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo contida nos intervalos [0;1%], [1%;3%], [3%;...];da potência instalada no SEN	• n.a.
Contagem	• Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW	• Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação
Processo Licenciamento	• Processo gerido via plataforma electrónica • Mera comunicação prévia: Entre 200W – 1,5 kW • Registo+certificado de exploração: Entre 1,5 kW e 1MW • Licença de produção + exploração: >1MW	• Processo gerido via plataforma electrónica • Registo + certificado de exploração • Inspeções obrigatórias
Outros aspectos	• Não existe quota de atribuição	• Quota máxima anual de potência atribuída (p.e. 20 MW atribuídos por ano)

Figura 4.3 - Principais diferenças entre autoconsumo e pequena produção [23].

4.2.3.3. Lei da Água – lei n.º 58/2005

Este documento aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro.

Os principais objetivos deste documento são, entre outros,

- Evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água;
- Promover uma utilização sustentável de água, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
- Assegurar o cumprimento dos objetivos dos acordos internacionais pertinentes, incluindo os que se destinam à prevenção e eliminação da poluição no ambiente marinho.

Também são referidas algumas entidades publicas com competências neste tema, dos quais:

- Instituto da água(INAG)
- Conselho nacional da agua (CNA)
- Administrações das regiões hidrográficas (ARH)
- Conselhos da região hidrográfica (CRH)

Todos aqueles que pretendem desenvolver atividades que impliquem a utilização de recursos hídricos, dos quais resulte um impacto significativo do estado das águas, necessitarão de estar habilitados legalmente para tal, através de um título de utilização de acordo com a legislação vigente. Este título garante que o utilizador respeita as normas, de maneira a que não sejam praticados atos ou atividades que causem degradação do meio onde estão inseridos.

No caso do uso privativo dos recursos hídricos, o direito apenas pode ser atribuído por licença ou por concessão. No caso das licenças, estas dão ao seu titular o direito de realizar as atividades requeridas durante um período máximo de 10 anos, variando este com o tipo de utilização e o tempo necessário para a amortização do investimento. A utilização de licença está sujeita ao pagamento de uma taxa de recursos hídricos bem como uma caução em que se garante o cumprimento das condições impostas pela licença.

Algumas atividades estão sujeitas a uma licença prévia para utilização dos recursos hídricos de domínio público por privados, sendo, entre outras:

- A captação de águas
- A ocupação temporária para construção ou alteração de infraestruturas hidráulicas
- A implantação de infraestruturas hidráulicas

A concessão de utilizações privadas dos recursos hídricos de domínio público é concedida através de um contrato entre a administração e o concessionário. Esta concessão garante ao seu titular o uso exclusivo para fins devidamente identificados da utilização dos recursos hídricos e tem um prazo máximo de 75 anos [24].

4.2.3.4. Utilização dos Recursos Hídricos – DL nº 226-A/2007

Este decreto de lei estabelece o regime de utilização dos recursos hídricos de acordo com a lei 58/2005, de 29 de dezembro, abordada anteriormente. A autorização, licença ou concessão constituem títulos de utilização dos recursos hídricos, e são reguladas nos termos do anterior, e do presente decreto-lei. Estes títulos são atribuídos pela administração da região hidrográfica territorialmente competente. É da competência do Sistema Nacional de Informação dos Títulos de Utilização dos Recursos Hídricos (SNITURH) a caracterização das utilizações dos recursos hídricos e dos respetivos títulos.

O pedido de informação prévia sobre a possibilidade de utilização dos recursos hídricos pode ser pedido por qualquer um, e este deve conter a identificação rigorosa da utilização pretendida bem como a identificação exata do local pretendido.

Neste DL define-se o significado de captação de águas, que corresponde à utilização de volumes de água superficiais ou subterrâneas, com ou sem retenção, para várias utilizações, entre elas a produção de

energia hidroelétrica. A captação de águas públicas para produção de energia hidroelétrica é realizada com observância do disposto no Plano Nacional da Água, nos planos de gestão de bacia hidrográfica e nos planos específicos de gestão de água na vertente energética.

No que diz respeito às infraestruturas hidráulicas, a responsabilidade técnica é assegurada por uma pessoa que possua licenciatura em especialidade adequada e com idoneidade técnica reconhecida pelas respetivas ordens profissionais. Durante a construção são realizadas vistorias pela autoridade competente para conferir a boa execução da obra e verificar a implementação das medidas de minimização ambiental que tenham sido definidas durante o processo de licenciamento. Em caso de parecer favorável, será o mesmo imediatamente comunicado à direção regional de economia territorialmente competente ou à DGEG, para os efeitos de realização da vistoria necessária para a atribuição da licença de exploração.

Durante o período de exploração são efetuadas vistorias trienais tendo em vista a verificação das condições de funcionamento e operacionalidade [25].

4.2.3.5. Regime Económico e Financeiro dos Recursos Hídricos – DL nº97/2008

O presente decreto-lei estabelece o regime económico e financeiro dos recursos hídricos previsto pela Lei 58/2005, de 29 de dezembro, disciplinando a taxa de recursos hídricos, as tarifas dos serviços públicos de águas e os contratos-programa em matéria de gestão dos recursos hídricos.

O regime económico e financeiro dos recursos hídricos obedece ao princípio da utilização sustentável dos recursos hídricos, devendo todos os instrumentos que o integram ser concebidos e aplicados de modo a garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos através da interiorização tendencial dos custos e benefícios que estão associados à utilização da água.

Este obedece ainda ao princípio da equivalência, devendo os tributos que o integram ser estruturados e aplicados em termos tais que a sua repartição entre os utilizadores dos recursos hídricos se faça na medida do custo que estes provocam à comunidade e na medida do benefício que a comunidade lhes proporciona.

Os instrumentos económicos e financeiros disciplinados pelo presente DL são a taxa de recursos hídricos, as tarifas dos serviços públicos de águas e os contratos-programa relativos a atividades de gestão dos recursos hídricos.

A taxa de recursos hídricos visa compensar o benefício que resulta da utilização privativa do domínio público hídrico, o custo ambiental inerente às atividades suscetíveis de causar um impacto significativo nos recursos hídricos, bem como os custos administrativos inerentes ao planeamento, gestão, fiscalização e garantia da quantidade e qualidade das águas.

As tarifas dos serviços públicos de águas visam garantir a recuperação, em prazo razoável, dos investimentos feitos na instalação, expansão, modernização e substituição das infraestruturas e equipamentos necessários à prestação dos serviços de águas, promover a eficiência dos mesmos na gestão dos recursos hídricos e assegurar o equilíbrio económico e financeiro das entidades que os levam a cabo em proveito da comunidade.

A taxa de recursos hídricos incide sobre as seguintes utilizações dos recursos hídricos:

- A utilização privativa de águas do domínio público hídrico do Estado;
- A descarga, direta ou indireta, de efluentes sobre os recursos hídricos, suscetível de causar impacto significativo;
- A extração de materiais inertes do domínio público hídrico do Estado;
- A ocupação de terrenos ou planos de água do domínio público hídrico do Estado;
- A utilização de águas, qualquer que seja a sua natureza ou regime legal, sujeitas a planeamento e gestão públicos, suscetível de causar impacto significativo.

A base tributável da taxa de recursos hídricos é constituída por cinco componentes e expressa pela fórmula seguinte:

$$\text{Taxa} = A + E + I + O + U$$

A aplicação das componentes da base tributável da taxa de recursos hídricos é cumulativa e a inaplicabilidade de uma qualquer das componentes não prejudica a aplicação das demais.

Componente A - utilização de águas do domínio público hídrico do Estado

A componente A corresponde à utilização privativa de águas do domínio público hídrico do Estado, calculando-se pela aplicação de um valor de base ao volume de água captado, desviado ou utilizado, nomeadamente, na produção de energia hidroelétrica ou termoelétrica, expresso em metro cúbico, multiplicado pelo coeficiente de escassez aplicável quando não se trate de águas marinhas.

O valor de base da componente A varia consoante o tipo de utilização, sendo que para a produção de energia hidroelétrica assume o valor de 0,00002€. Para o caso do coeficiente de escassez, este valor é diferente tendo em conta a localização da bacia hidrográfica associada variando os valores de 1 até 1.2.

No que diz respeito a produção hidroelétrica, a componente A é reduzida para as seguintes condições:

- 50 % no que respeita à utilização de águas para produção de energia hidroelétrica em aproveitamentos com queda bruta máxima até 10 m
- 80 % no que respeita à água objeto de bombagem em aproveitamentos de produção de energia hidroelétrica que empreguem grupos reversíveis

Em alguns casos pode haver isenção da componente A, sendo estes:

- A utilização de águas que seja realizada por meio de equipamentos de extração cuja potência total não ultrapasse os 5 cv, exceto quando a administração de região hidrográfica, abreviadamente designada ARH, ou o instrumento de planeamento aplicável qualifique a captação como tendo impacte adverso significativo nos recursos hídricos;
- A utilização de águas fundamentada em razões de segurança de abastecimento ou outras razões estratégicas nacionais.

Componente U - utilização de águas sujeitas a planeamento e gestão públicos

A componente U corresponde à utilização privativa de águas, qualquer que seja a sua natureza ou regime legal, sujeitas a planeamento e gestão públicos, suscetível de causar impacte significativo, calculando-se pela aplicação de um valor de base ao volume de água captado, desviado ou utilizado, nomeadamente, na produção de energia hidroelétrica ou termoelétrica, expresso em metro cúbico.

O valor de base da componente U é de 0,000004€ para a produção de energia hidroelétrica e de 0,0026€ para os sistemas de água de abastecimento.

A componente U é reduzida nos mesmos termos que a componente A apresentados anteriormente. Os casos de isenção também correspondem aos mesmos apresentados para a componente A.

Nos casos em que o título de utilização possua validade igual ou superior a um ano, ou nos casos em que o sujeito passivo exerça opção nesse sentido, o volume de água relativo às componentes A e U, é determinado com base no autocontrolo e medição regular nos termos previstos pelo artigo 5.º do Decreto-Lei 226-A/2007, de 31 de Maio.

Quando não existam os equipamentos de medição ou quando não se proceda à comunicação atempada das medições, bem como nos casos em que o título de utilização possua validade inferior a um ano, as componentes A e U da taxa de recursos hídricos são determinadas com base nos valores máximos constantes dos títulos de utilização [26].

4.3. AUTOCONSUMO VS UNIDADES DE PEQUENA PRODUÇÃO

4.3.1. INTRODUÇÃO

A produção de energia em pequena escala separa-se em dois grandes tipos, sendo elas as Unidades de Produção para Autoconsumo e Unidades de Pequena produção.

Nas UPAC a energia produzida é utilizada unicamente pelo produtor, havendo uma redução dos custos pelo facto de este ter de comprar menos energia à rede.

No caso das UPP, e ao contrário do que acontece nas UPAC, toda a energia produzida será vendida e injetada na RESP.

4.3.2. AUTOCONSUMO

A unidade de produção para autoconsumo (UPAC) permite produzir localmente a sua própria energia e contribuir diretamente para o abatimento dos custos energético.

Particulares, condomínios e empresas podem usufruir das UPAC. Torna-se obrigatório seguro de responsabilidade civil e a instalação terá de ser executada por entidades qualificadas, exceto se se tratarem de kits de autoconsumo até 1,5kW.

Cabe ao produtor escolher se quer ou não injetar na rede energética de serviço público (RESP) a energia não consumida.

Se o produtor quiser vender o excedente produzido é necessário certificado de exploração e contador. A energia será vendida a uma tarifa até cerca de €0,05/kWh produzido e será necessário o pagamento de uma taxa de registo junto do SERUP (sistema eletrónico de registo de unidades de produção). [23]

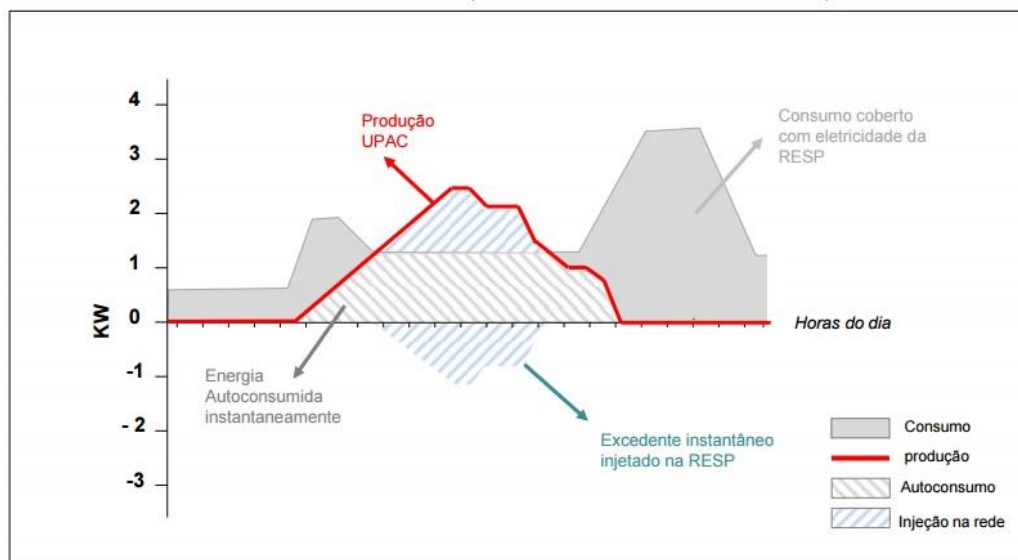


Figura 4.4 - Diagrama de produção e Consumo [27].

Como se verifica na Figura 4.4, há alturas do dia em que a energia produzida é superior à energia consumida. Nestes casos, para que não hajam desperdícios, a energia excedente será, caso do produtor assim o deseje, injetada na RESP.

A energia elétrica excedente injetada na RESP é remunerada ao preço da “pool”, deduzido de 10% (para compensar custos de injeção) (expressão 4.1).

$$R_{pac,m} = E_{fornecida,m} * OMIE,m * 0.9 \quad (4.1)$$

Em que,

Rupac,m – remuneração paga ao produtor no mês m

Efornecida,m – energia excedente injetada na RESP no mês m

OMIE,m – preço médio do mercado ibérico de energia no mês m

A UPAC renovável, com potência inferior a 1MW, tem opção de vender o excedente de energia aos Comercializadores de Último Recurso (CUR) (contratos de 10+5 anos).

O regime de faturação pode ser dilatado no tempo para agilizar procedimentos administrativos e evitar pequenos montantes nas faturas (p.e. uma única fatura anual).

A UPAC com potência superior a 1.5kW e cuja instalação de consumo esteja ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação que permita recuperar uma parcela dos Custos de Política Energética, de Sustentabilidade e de Interesse Económico Geral (CIEG) na tarifa de uso global do sistema.

A compensação a pagar apenas se torna efetiva quando a representatividade das UPAC exceda 1% do total da potência instalada no SEM. Após atingir 1% de representatividade, a compensação passa a ser devida pelas novas UPAC instaladas nos seguintes termos:

- 30% dos CIEG - enquanto a potência acumulada de UPAC instaladas não exceda 3% do total da potência instalada no SEM
- 50% dos CIEG - quando a potência acumulada de UPAC instaladas exceda 3% do total da potência instalada no SEM

A compensação mensal a pagar é fixada no início da entrada em exploração da UPAC e vigora por um período de 10 anos. Esta é fixa e incide sobre a potência instalada na UPAC [27].

Licenciamento da UPAC

O processo de licenciamento de um UPAC atravessa uma série de procedimentos até se estar pronto para produzir energia.

Será apresentado de seguida, Figura 4.5, um esquema do procedimento necessário para o licenciamento da UPAC [27].

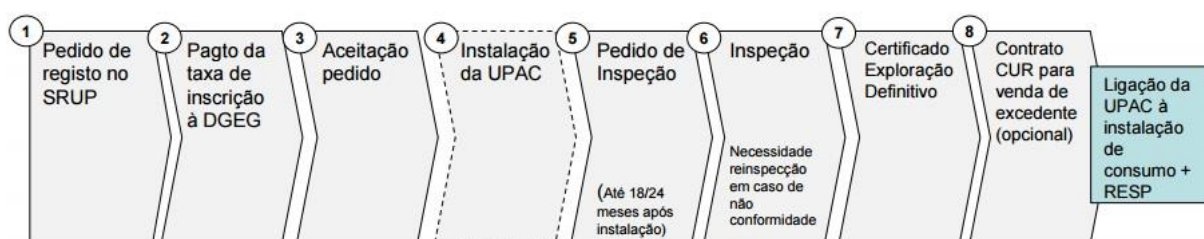


Figura 4.5 - Processo de licenciamento de uma UPAC [27].

O registo é efetuado via plataforma eletrónica (SRUP) que é gerido pela DGEG (ou por outra entidade cujas competências lhe sejam delegadas). Para UPAC's com potencias inferiores a 200W não é necessário o registo das mesmas. Caso a potencia se encontre compreendida entre 200W e 1.5kW ou cuja instalação de consumo não se encontre ligada à RESP, estas apenas necessitam que seja efetuada a comunicação prévia de exploração. Para os casos de UPAC's com potencias superiores a 1MW, estas necessitam de licença de produção bem como de licença de exploração.

A Figura 4.6 mostra, de forma simplificada o que o produtor necessita de fazer para estar legalmente apto para produzir energia através de uma UPAC, para os diferentes patamares de potencia instalada.

	<200w	200-1500 W	1,5k W – 1MW	> 1MW
Registo	-	Mera comunicação prévia	Controlo Prévio / Cert. Exploração	Licença de Exploração
Taxas Registo	-	isento	✓	✓ aplicável ao respectivo regime
Equipamento de Contagem	-	-	Sim. Com Telecontagem	Sim. Com Telecontagem
Remuneração excedente ("Pool")	- (apenas se existir registo)	- (apenas se existir registo)	✓	- (Terá de ser definida com contraparte)
PPA	- (CUR caso exista registo)	- (CUR caso exista registo)	CUR	Outro
Compensação	isento	isento	✓	✓
Seguro. Resp. Civil	-	-	✓	✓

Figura 4.6 - Energia produzida vs procedimento [27]

Como se pode constatar, pela Figura 4.6, a potencia da instalação vai ser a maior condicionante para o processo de licenciamento da unidade de produção.

4.3.3. UNIDADES DE PEQUENA PRODUÇÃO

A unidade de pequena produção (UPP) injeta a totalidade da energia produzida na RESP. A instalação de consumo associada recebe a totalidade da energia do comercializador.

A UPP é instalada no local de consumo e a potencia instalada tem de ser inferior à potencia contratada na instalação de consumo e nunca superior a 250kW.

Numa base anual, a energia produzida pela UPP não pode exceder o dobro da eletricidade consumida na instalação de consumo [28].

4.3.3.1. Categorias de UPP e Cotas de Potência

A potência a atribuir no âmbito do regime de pequena produção, não pode exceder anualmente a quota de 20MW. Esta é segmentada em 3 diferentes categorias, consoante as medidas acessórias implementadas, como se pode ver na Figura 4.7.

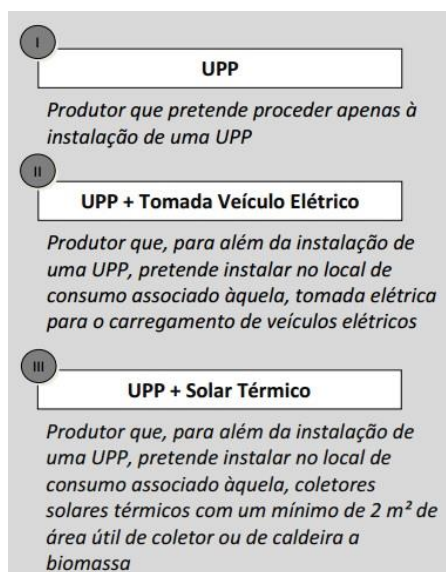


Figura 4.7 - Categorias para atribuição de potência [27].

Anualmente, mediante despacho da DGEG, procede-se ao estabelecimento de:

- Quota de potencia de ligação a alocar no ano seguinte;
- A programação de alocação da quota anual através do SERUP
- Eventuais saldos de potencia não atribuídas em anos anteriores

4.3.3.2. Remuneração da Energia Elétrica Injetada na RESP

A energia elétrica ativa produzida pela UPP e entregue à RESP é remunerada pela tarifa atribuída com base num modelo de licitação(leilão), no qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência.

A tarifa de referência para cada categoria é estabelecida anualmente mediante despacho do SEN e varia consoante o tipo de fonte de produção, como se pode ver na Figura 4.8.

% sobre tarifa ref.	
Solar	100 %
Eólica	80%
Hídrica	50%
Biogás	60%
Biomassa	60%

Figura 4.8 - percentagem sobre as tarifas de referência [27].

A energia injetada na rede fora dos limites estabelecidos para as UPP não é remunerada. A tarifa de remuneração não é acumulável com outro tipo de incentivo à produção da eletricidade produzida em regime especial. Esta tarifa vigora por um prazo de 15 anos e os produtores não podem optar por outro tipo de regime durante o prazo de vigência da respetiva tarifa. Após termo do período de 15 anos o produtor entra no regime geral de produção em regime especial.

4.3.3.3. Licenciamento

A gestão dos procedimentos é efetuada via plataforma eletrónica (*site* SRUP), gerido pela DGEG (ou entidade terceira cujas competências lhes sejam delegadas). O procedimento para obtenção do registo é publicado em portaria está apresentada na Figura 4.9.

Não são cumuláveis registos relativos a UPP associados a uma mesma instalação de utilização de energia elétrica. O registo de uma UPP poderá ser acedido por entidade terceira autorizada pelo titular do contrato de fornecimento de eletricidade a instalação de utilização.

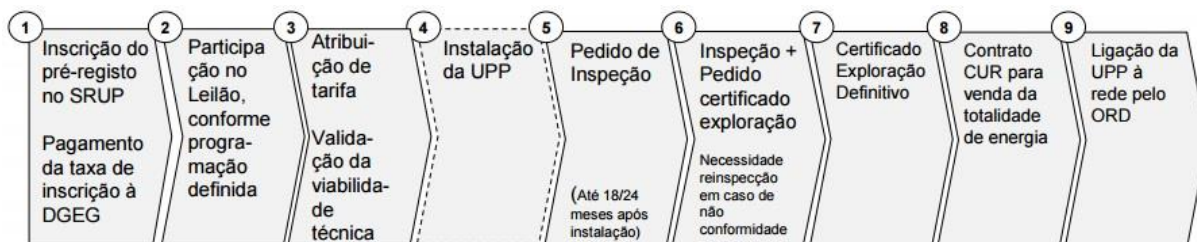


Figura 4.9 - Exemplo do registo de uma UPP [27].

Não existem requisitos de auditoria energética para instalar uma UPP [27].

5

ESTUDO DE CASO

5.1. INTRODUÇÃO

Ao longo das redes de abastecimento de água em Portugal existe uma grande dissipação de energia, quer pela utilização de válvulas redutoras de pressão, quer a montante dos reservatórios. As válvulas redutoras de pressão promovem uma diminuição de pressão nas redes de abastecimento para valores requeridos. As turbinas ou PAT's podem simultaneamente garantir a pressão adequada e produzir energia.

Explorar o potencial hidroelétrico, na rede de abastecimento de água potável, consiste na colocação de uma turbina diretamente nas condutas adutoras, não comprometendo a quantidade e qualidade do abastecimento de água à população. Este tipo de obras deve ser objeto de uma proteção sanitária bastante cuidada devido ao facto de a água ser destinada ao abastecimento público.

5.2. SELEÇÃO DO LOCAL

Antes de mais, foi necessário escolher o local de análise, local este que foi selecionado tendo como referência as quedas existentes, bem como os caudais esperados e, consequentemente, as potências expectáveis. Assim sendo, começou-se por fazer uma triagem dos locais possíveis (lista fornecida em anexo), tendo em conta as perdas de carga induzidas pelas válvulas redutoras de pressão. Em segundo lugar foi calculado um caudal teórico que passa na adutora, através da expressão 5.1, em que todos os dados são conhecidos, à exceção da velocidade, que foi arbitrada e igual a 1,5 m/s. Neste caso excluem-se os locais com os menores caudais que são os menos interessantes para produção de energia elétrica. Por último foi utilizada a expressão 5.2, em que se relaciona a queda útil com o caudal.

De seguida serão apresentadas a expressão 5.1 e 5.2 que foram utilizadas para selecionar o local a analisar.

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} U \quad (5.1)$$

em que, Q – Caudal (m³/s), D – Diâmetro (m), U – Velocidade (m/s)

$$P = HQ\gamma \quad (5.2)$$

em que, P – Potência (kW), H – Queda Útil (m), Q – Caudal (m³/s), γ – Peso Específico da Água (kN/m³)

Após este procedimento, e já com a lista de opções bastante reduzida, optou-se por escolher o subsistema do Souto Redondo, que apesar de não ter sido o local onde se obtiveram os valores mais altos de caudal e de potência, apresenta valores bastante aceitáveis para o desenvolvimento deste estudo.

5.3. LOCAL DA INSTALAÇÃO

A válvula redutora de pressão para a qual será feito o estudo encontra-se no conselho de Arouca, mais precisamente na freguesia de Urrô, num local que se denomina Souto Redondo. Esta zona é caracterizada pela grande inclinação do terreno, e consequentemente, pela existência de pressões muito elevadas nas condutas de distribuição, possibilitando assim, o aproveitamento desta energia, que terá de ser dissipada para o bom funcionamento do sistema de abastecimento. Assim sendo, abre-se uma porta para a produção de energia.

De seguida serão apresentadas algumas imagens dos equipamentos existentes neste troço do sistema bem como informações relativas às cotas e pressões medidas no local.

Em primeiro lugar, será apresentado o reservatório que é a instalação mais a montante do troço em estudo. Este encontra-se a uma cota de 649 m, sendo a cota de nível máximo aproximadamente 646m, e abastece as condutas onde se encontram as válvulas redutoras de pressão.



Copyright © 2017 - Francisco Piqueiro - www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com - F7G_0018

Figura 5.1 - Reservatório do subsistema de Souto Redondo.

A jusante deste reservatório estão instaladas duas válvulas redutoras de pressão (VRP1 e VRP2). Em ambas as VRP's foram medidas as pressões de entrada e de saída. A VRP1 encontra-se a 546 m de altura e a pressão à chegada variava entre 8 e 12 BAR e a pressão à saída estava definida em 2.5 BAR. De salientar que neste local já existe um bypass, o que facilitaria a instalação de uma unidade de produção.

Em relação à VRP2, esta encontra-se a 477 m de altura e o valor da pressão medido à chegada era de 8 BAR e a pressão definida à saída era igual a 3 BAR.

Na Figura 5.2 e na Figura 5.3 são apresentadas imagens referentes a estes dois postos.



Copyright © 2017 - Francisco Piqueiro - www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com - FTG_0007

Figura 5.2 - VRP1



Copyright © 2017 - Francisco Piqueiro - www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com - FTG_0012

Figura 5.3 - VRP2.

Na Figura 5.4 apresenta-se uma imagem com a representação do trajeto da adutora, desde o reservatório até à válvula redutora de pressão 2.



Figura 5.4 - Trajeto entre o reservatório e a VRP2.

5.4. PRESSÕES NO SISTEMA

5.4.1. INTRODUÇÃO

No ponto anterior foram apresentadas as cotas no reservatório, bem como as pressões medidas pelos medidores de pressão na VRP1 e na VRP2 e respectivas cotas.

Neste ponto será feita uma verificação da conformidade das pressões, tendo em conta as medições e os valores expectáveis pela variação das cotas.

5.4.2. PRESSÕES

Como foi indicado no ponto 5.8, foram medidas as pressões nos locais onde existem as VRP's. Foram também determinadas as cotas do reservatório bem como das válvulas. Com estes dados pode-se estimar as pressões existentes nos locais onde se encontram a VRP1 e VRP2 de forma teórica, e compara-los com os valores medidos.

Tabela 5.1 - Medições

Local	Cota (m)	Diferença de Cotas (m)	Pressão medida a montante (m.c.a)	Pressão medida a jusante (m.c.a)
Reservatório	649	-	-	-
VRP1	546	103	100	25
VRP2	477	69	80	30

De notar que o comprimento da adutora entre o reservatório e a válvula redutora de pressão 1 é de cerca de 1250 m e entre a válvula redutora de pressão 1 e 2 é de cerca de 1080 m.

5.4.3. PERDAS DE CARGA

De maneira a verificar as pressões medidas, foi calculada a perda de carga expectável no troço Reservatório-VRP1 e VRP1-VRP2. Para isto, foi necessário calcular uma diversidade de parâmetros, de maneira a chegar-se à perda de carga ao longo da adutora.

Em primeiro lugar foi determinado o número de Reynolds, através da expressão 5.3.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (5.3)$$

em que, Re – Numero de Reynolds, U – Velocidade do escoamento (m/s), D – Diâmetro da conduta (m), ν – Viscosidade cinemática do fluido (m^2/s)

Para este cálculo, considerou-se a viscosidade cinemática da água igual a $1,34 \cdot 10^{-6}$, que corresponde a uma temperatura do líquido de cerca de $10^\circ C$. As velocidades usadas são as correspondentes ao caudal médio diário para os 6 meses de análise, caudal do mês de maior consumo e caudal do dia de maior consumo.

Depois da determinação do número de Reynolds, pode-se então passar ao cálculo do λ . Este coeficiente será determinado pela fórmula de Barr, que será apresentada de seguida.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (5.4)$$

em que, k - Rugosidade Equivalente (mm), λ - Fator de atrito de Darcy-Weisbach, Re - Número de Reynolds, D - Diâmetro (m)

A rugosidade equivalente (k) considerada para o cálculo foi de 0.04 mm.

A Tabela 5.2 mostra os valores obtidos para o número de Reynolds e para o fator de atrito (λ) para velocidades que correspondem aos caudais de referência como indicado anteriormente.

Tabela 5.2 - Número de Reynolds e fator de atrito

	Re	λ
Qdma	79398	0,0189
Qmmc	87895	0,0185
Qdiamax	102922	0,0179

Neste momento, pode-se proceder ao cálculo das perdas de carga unitárias (j) bem como das perdas de carga totais (ΔH). Para isto utilizaram-se as expressões 5.5 e 5.6 respetivamente.

$$j = \frac{\lambda U^2}{D 2g} \quad (5.5)$$

sendo,

j – Perda de carga unitária (m/m)

U – Velocidade do escoamento (m/s)

D – Diâmetro da conduta (m)

λ - Fator de atrito de Darcy-Weisbach

g – Aceleração da gravidade (m/s²)

O valor da perda de carga unitária representa a perda de carga por cada metro de conduta. Assim sendo pode-se calcular a perda de carga total em cada troço do sistema em análise tendo em conta o facto de os comprimentos dos troços Reservatório-VRP1 e VRP1-VRP2 serem conhecidos.

$$\Delta H = 1.1jL \quad (5.6)$$

onde,

j – Perda de carga unitária (m/m)

L – Comprimento da conduta (m)

ΔH – Perda de carga total (m)

De realçar que o valor da perda de carga total é majorado em 10%, de forma a incluir, de forma aproximada, o valor das perdas de carga localizadas, perdas de carga essas que advêm de mudanças de direção, mudanças de inclinação e outros.

Na Tabela 5.3 estão apresentados os resultados obtidos através das expressões 5.5 e 5.6.

Tabela 5.3 - perdas de carga unitárias e totais

	J (m/m)	J (m)		ΔH (m)	
		R-VRP1	VRP1-VRP2	R-VRP1	VRP1-VRP2
Qdma	0,0242	30,25	26,13	33,27	28,75
Qmmc	0,0290	36,30	31,36	39,93	34,50
Qdiamax	0,0386	48,20	41,64	53,02	45,81

Com estes dados pode-se verificar se os valores das pressões medidas têm um valor aceitável comparativamente ao que foi calculado teoricamente. Na Tabela 5.4 tem-se a comparação entre as pressões medidas e as pressões calculadas.

Tabela 5.4 - comparação entre pressões medidas e pressões calculadas

	pressão medida	pressão teórica
VRP1	100	63,07
VRP2	80	59,50

Como se pode constatar, as pressões tomam valores bastante diferentes. Isto poderá ter algumas explicações, como por exemplo, na altura em que foram feitas as medições no local (meio da manhã), o

caudal ser muito baixo, o que faria com que as velocidades fossem igualmente baixas, levando a perdas de carga mais pequenas.

Como a diferença entre as duas é considerável, as quedas consideradas dirão respeito às medições realizadas no local.

5.5. CONSUMOS NA REDE

Como seria de esperar, os consumos variam consoante os meses, bem como a altura do ano. Neste ponto serão apresentados os gráficos correspondentes aos consumos diários do mês de fevereiro até ao mês de julho de 2017. Assim sendo, passa-se à apresentação dos consumos diários ao longo dos 6 meses analisados.

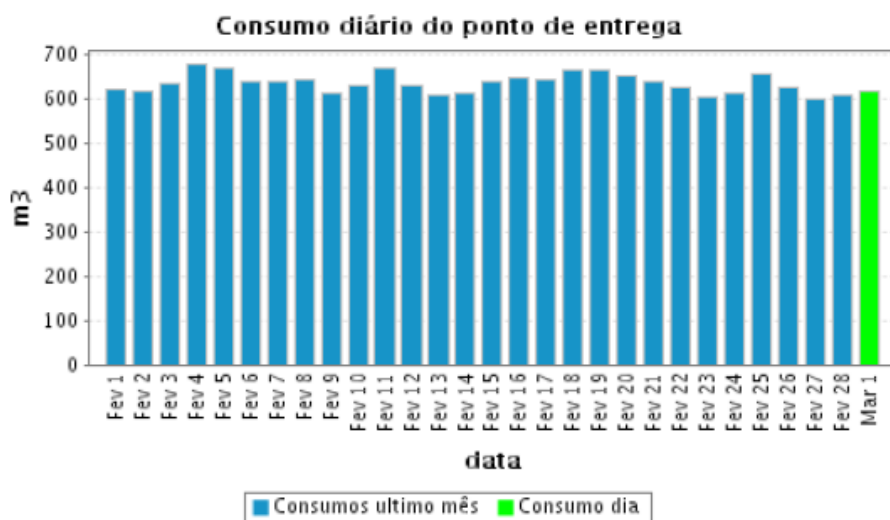


Figura 5.5 - Consumo diário no mês de fevereiro.

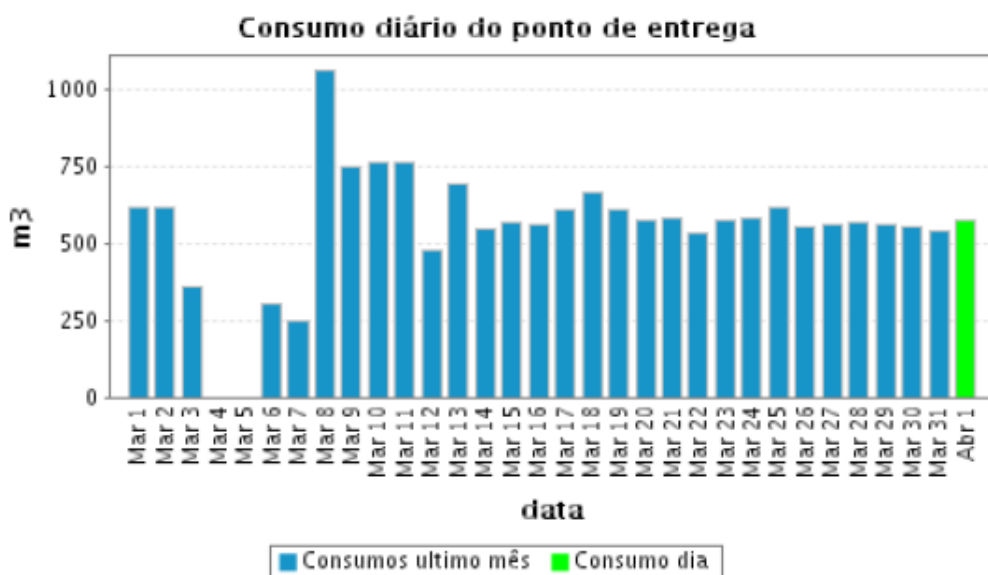


Figura 5.6 - Consumo diário do mês de março.

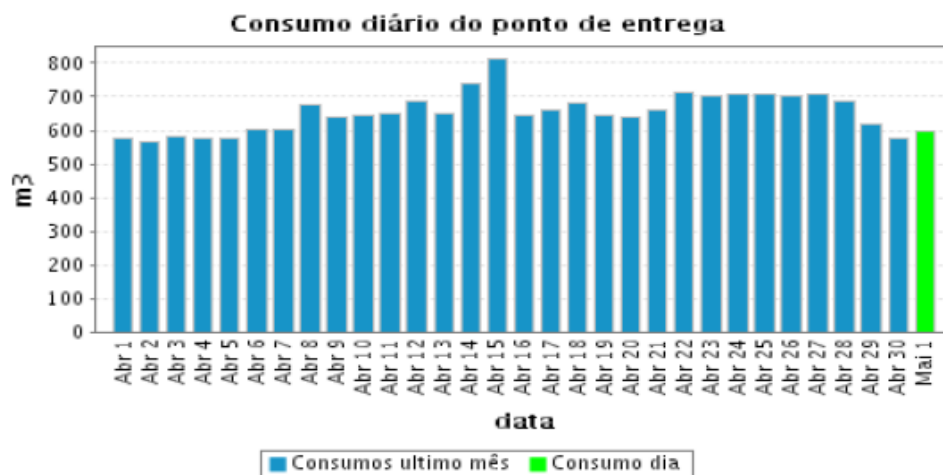


Figura 5.7 - Consumo diário do mês de abril.

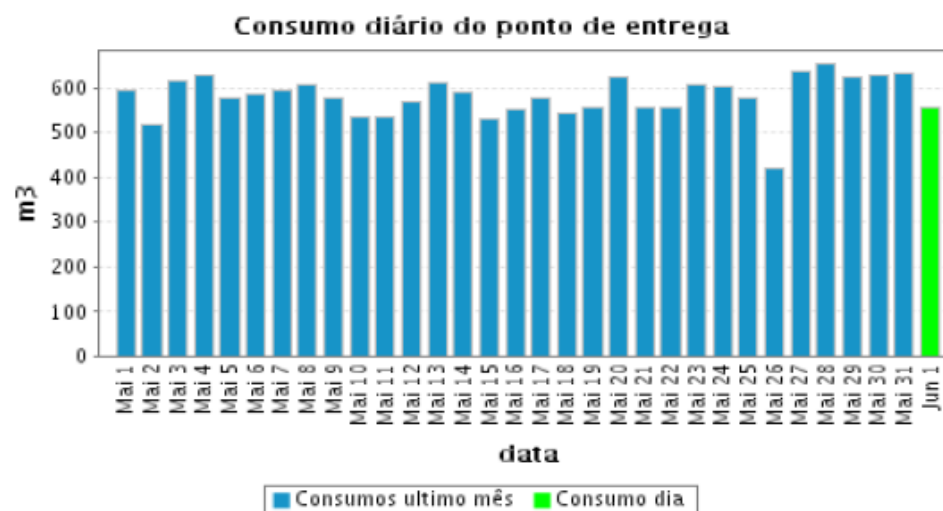


Figura 5.8 - Consumo diário do mês de maio.

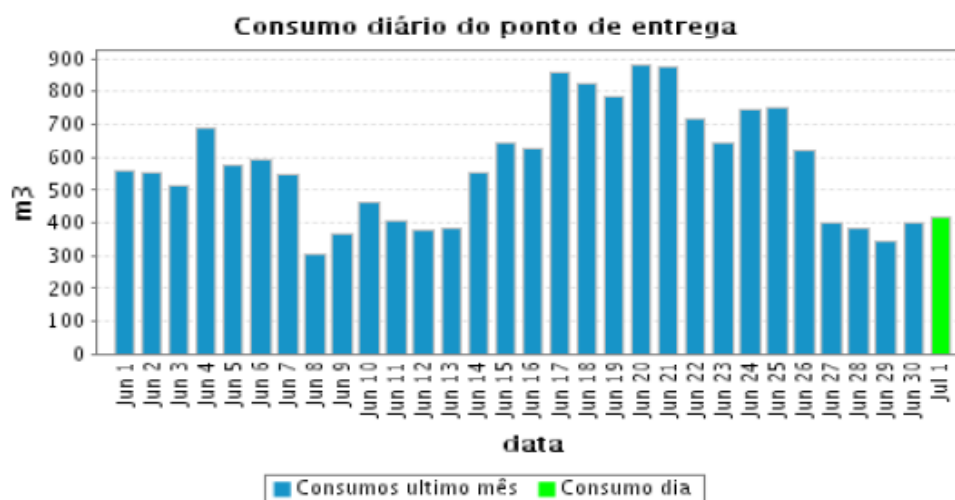


Figura 5.9 - Consumo diário do mês de junho.

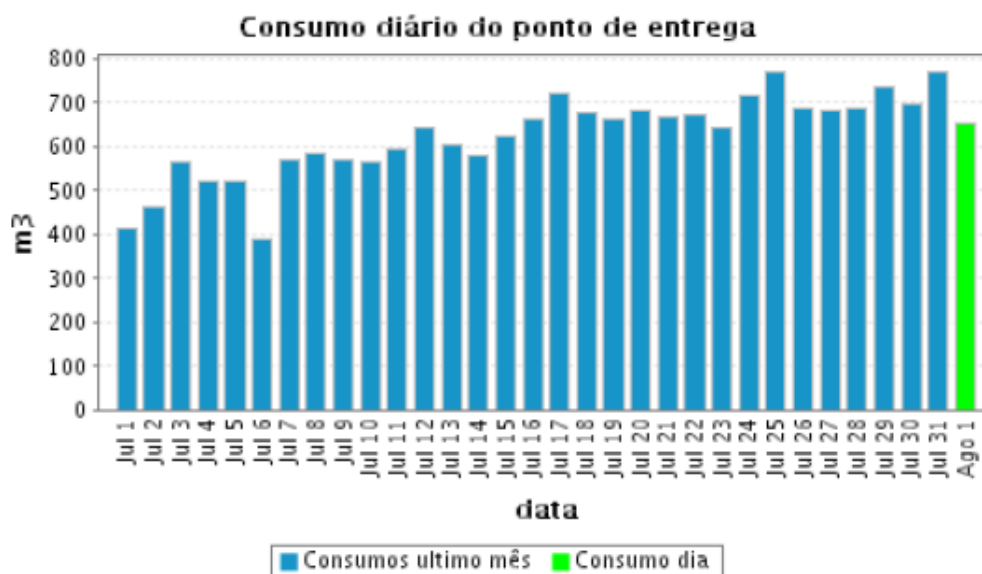


Figura 5.10 - Consumo diário do mês de julho.

Como se pode ver, o consumo médio de cada mês tem variações pequenas sendo a média do período de amostra cerca de 600 m³/dia. O mês de março foi o que teve um consumo médio diário mais baixo, na ordem dos 550 m³ e o mês de maior consumo foi o mês de abril, que teve consumos médios diários na ordem dos 650 m³. No mês de março, nos dias 4 e 5 não há registos o que pode ter a ver com a desativação do sistema para reparações, por exemplo. Em relação aos consumos diários estes, como seria de esperar, variam ao longo do dia, sendo mais baixos durante a noite e mais elevados durante o dia.

Como exemplo será apresentado o gráfico correspondente a um dia, escolhido aleatoriamente, dentro da amostra analisada, de maneira a se perceber como evolui o consumo ao longo do dia.

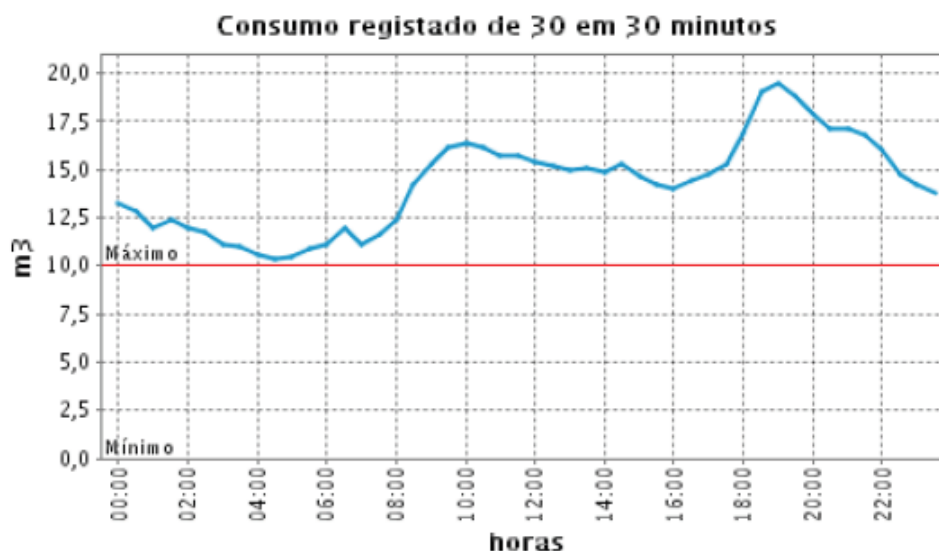


Figura 5.11 - Consumo horário do dia 28 de julho de 2017

Como foi dito anteriormente os consumos são mais baixos durante a noite, pois é nessa altura em que as pessoas estão a dormir, levando assim a consumos mais baixos. Ao início da manhã os consumos começam a subir, que corresponde à altura do dia em que as pessoas começam a acordar para ir trabalhar. No final do dia volta a haver um pico que corresponde à altura em que as pessoas chegam a casa.

5.6. DETERMINAÇÃO DO CAUDAL INSTALADO E POTÊNCIA

5.6.1. INTRODUÇÃO

Nesta fase do estudo é de grande importância a determinação do caudal instalado no equipamento.

Este caudal corresponde ao máximo caudal turbinável pela turbomáquina. Para isto analisaram-se as curvas de caudais classificados ao longo do período em estudo.

5.6.2. CURVAS DE CAUDAIS CLASSIFICADOS

A curva de caudais classificados é, nada mais nada menos que uma representação gráfica dos caudais ao longo do tempo, por ordem decrescente de grandeza. De seguida serão apresentadas as curvas para os meses analisados.

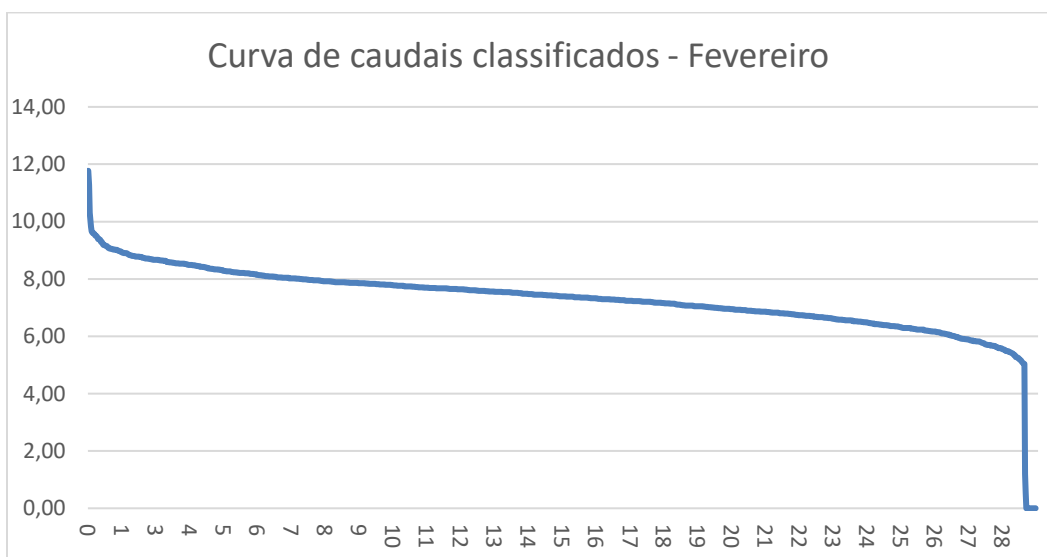


Figura 5.12 - Curva de caudais classificados do mês de fevereiro.

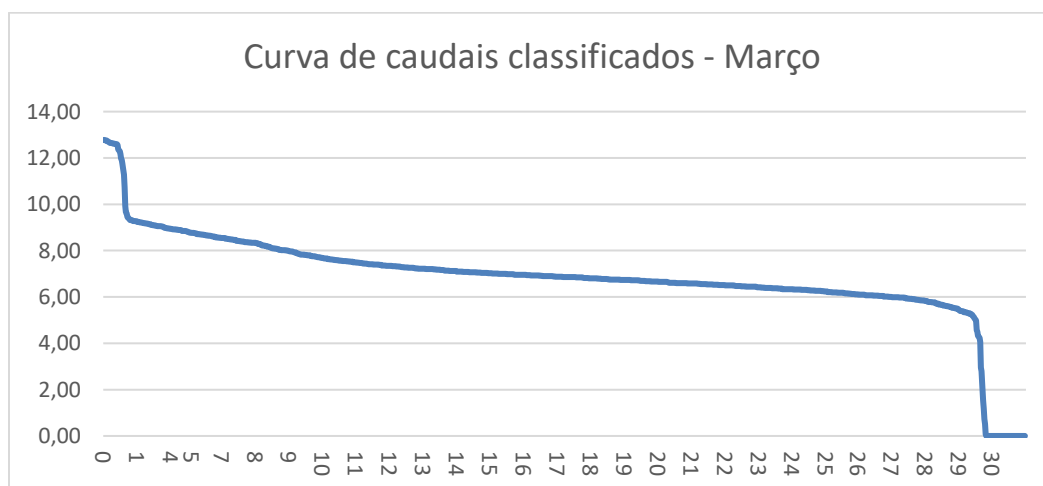


Figura 5.13 - Curva de caudais classificados do mês de março.

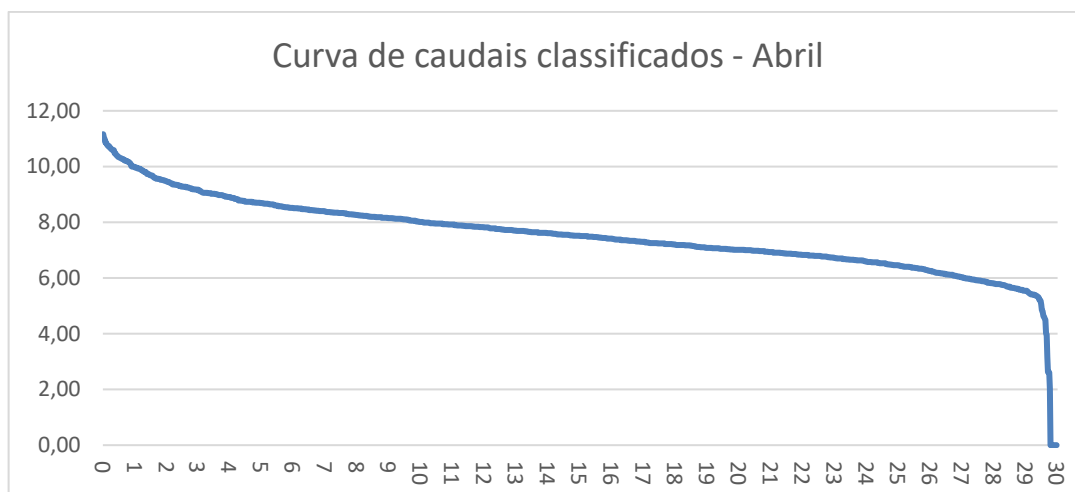


Figura 5.14 - Curva de caudais classificados do mês de abril.

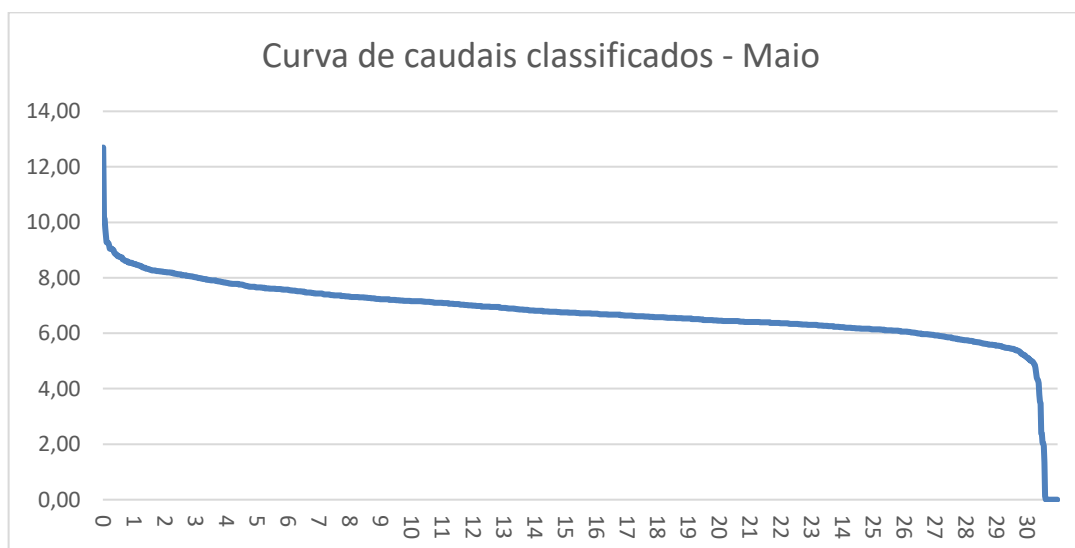


Figura 5.15 - Curva de caudais classificados de maio.

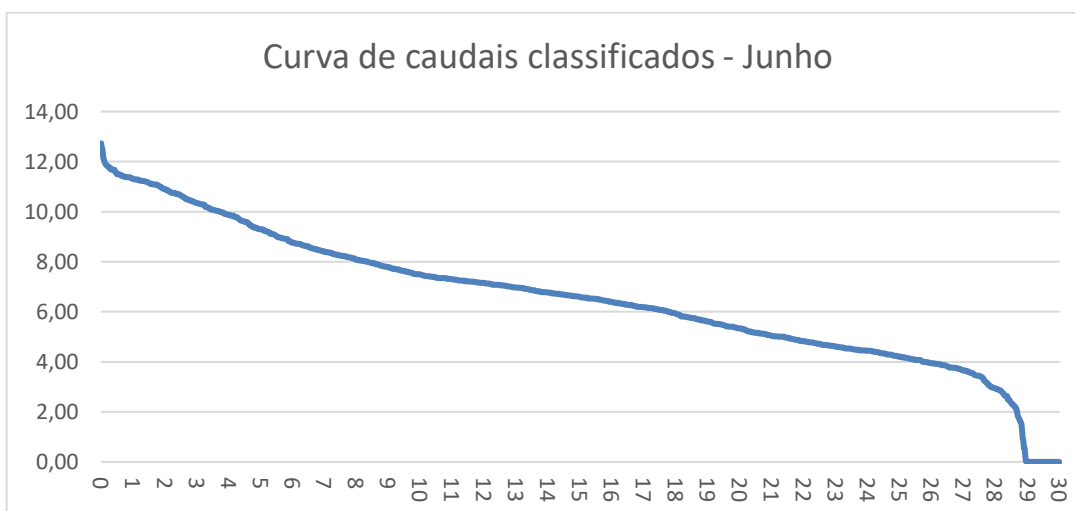


Figura 5.16 - Curva de caudais classificados de junho.

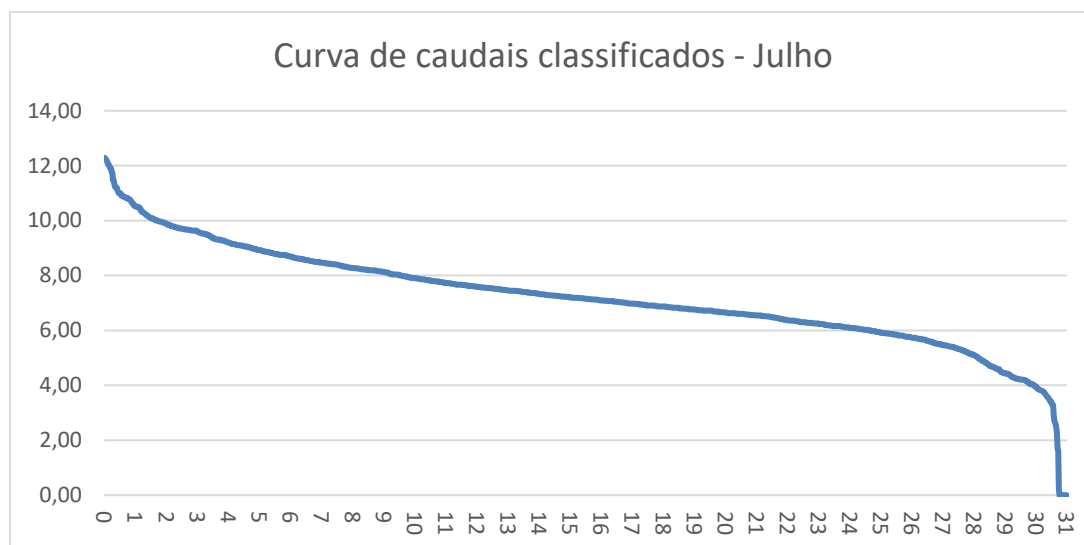


Figura 5.17 - Curva de caudais classificados de julho.

Depois de apresentadas as curvas de caudais classificados, foi tomada a decisão de considerar o caudal instalado igual ao caudal máximo do mês de maior consumo (abril). Este valor não corresponde ao maior valor do caudal transportado ao longo dos seis meses, mas à partida será o mais vantajoso a nível de intervalo de valores de caudais que é possível turbinar. Assim sendo, o caudal instalado assumirá o valor de 11l/s. O caudal mínimo turbinável que foi considerado, corresponde a 50% do caudal instalado.

5.6.3. POTÊNCIA

Depois dos assuntos abordados em 5.4 e ao longo de 5.6, pode-se determinar a potência do equipamento a ser escolhido. Para isto é necessário saber o caudal instalado, bem como da queda útil. Assim sendo, através da expressão 5.7 determinou-se a potencia instalada.

$$P = \gamma H_u Q_{\text{inst}} \quad (5.7)$$

com,

P – Potência (kW)

Q_{inst} – Caudal instalado (m³/s)

H_u – Queda útil (m)

γ – Peso específico da água (kN/m³)

De realçar que, como já foi dito anteriormente, que o valor da queda útil que será utilizado, será correspondente às pressões medidas no local ($H_u=75$ m). Apesar de existirem duas válvulas redutoras de pressão no troço em análise, não faria sentido estar a fazer duas vezes o mesmo calculo, assim, optou-se por analisar apenas no local onde se encontra instalada a VRP1. Desta forma, obteve-se um valor de potência da ordem dos 8kW.

5.7. ENERGIA PRODUZIDA

5.7.1. INTRODUÇÃO

Neste ponto será feita a análise relativamente à energia que seria produzida pela instalação durante os 6 meses para a qual se obteve dados. Será também feita uma abordagem sobre a poupança, a nível monetário, que se iria obter.

5.7.2. PRODUÇÃO DE ENERGIA

Para calcular a energia produzida, em primeiro lugar determina-se o rendimento a utilizar. Este rendimento é obtido em relação ao caudal que é turbinado. Para isto consideraram-se 5 patamares de caudais turbinados e respetivos volumes. Os rendimentos foram determinados pela leitura do gráfico da Figura 5.18 (linha a preto), onde se obtém a relação entre $Q_{\text{turbinado}}$ e $Q_{\text{instalado}}$ com o rendimento.

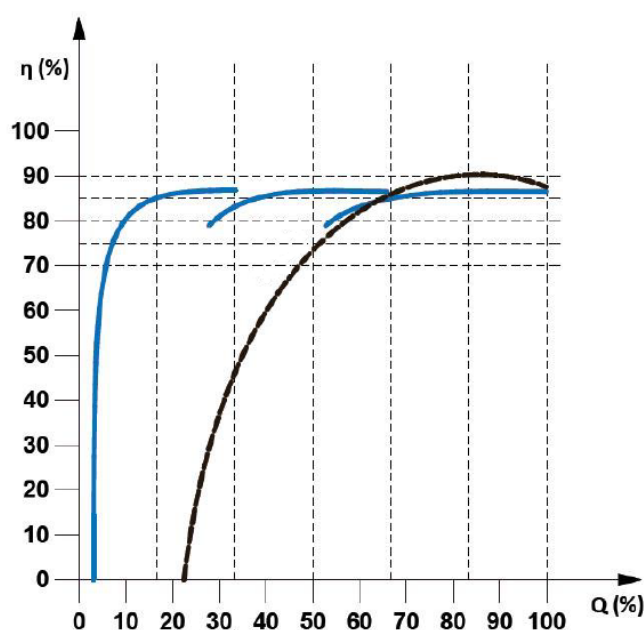


Figura 5.18 - Curva de rendimentos

Na Tabela 5.5, estão apresentados os valores dos volumes e rendimentos para cada um destes patamares.

Tabela 5.5 - Q/Q_{inst} vs η

Caudal (l/s)	caudal médio (l/s)	Q/Q_{inst}	Volume (m ³)	Rendimento (η)
5,5 - 7,0	6,25	0,57	36098,71	0,8
7,0 - 8,0	7,5	0,68	31701,29	0,85
8,0 - 9,0	8,5	0,77	18831,51	0,88
9,0 - 10,0	9,5	0,86	7967,97	0,9
10,0 - 11,0	10,5	0,95	6527,88	0,89
Σ	-	-	101127,36	-

A energia produzida foi calculada através da expressão 5.8.

$$E = \gamma \eta H_u V \quad (5.8)$$

com,

E – Energia (MWh)

γ – peso específico da água (kN/m³)

H_u – queda útil (m)

V – Volume turbinado (m³)

Os resultados obtidos serão apresentados em valores parciais, que correspondem a cada patamar de caudal considerado. Estes são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Energia produzida

caudais	Energia (j)	Energia (MWh)
5,5 - 7,0	21247701	5,902
7,0 - 8,0	19825590	5,507
8,0 - 9,0	12192649	3,387
9,0 - 10,0	5276191	1,466
10,0 - 11,0	4274570	1,187
Σ	62816701	17,449

Como se pode ver, durante os 6 meses de análise conseguir-se-ia produzir cerca de 17,5 MW.h de energia. Este é um valor bastante aceitável de energia produzida tendo em conta as dimensões reduzidas da instalação.

No próximo ponto será feita uma pequena análise sobre a poupança espectável caso a instalação entrasse em funcionamento.

5.8. POUPANÇA

5.8.1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal do estudo que foi efetuado, foi aproveitar os desníveis energéticos existentes em sistemas de abastecimento de água, transformando estes desníveis em energia elétrica. Neste ponto será feita uma pequena análise sobre a poupança que poderá existir na fatura de eletricidade do produtor.

5.8.2. CUSTO DA ENERGIA E REDUÇÃO DE CUSTOS

Segundo a entidade reguladora dos serviços energéticos (ERSE), o custo do kWh assume vários valores consoante o tipo de contrato que os consumidores têm com a empresa de fornecimento de energia. Para esta análise será considerado o valor mais conservativo, que corresponde a 0.1135€/kWh.

Assim sendo, pode-se determinar quanto foi a poupança multiplicando a energia produzida pelo custo desta mesma energia. A energia produzida durante os 6 meses foi de 23265 kWh o que corresponde a aproximadamente 2640€. Este valor determinado não corresponde à poupança efetiva visto que a pequena produção e autoconsumo estão sujeitos ao pagamento de taxas consoante a energia produzida.

Para além disso, caso a energia seja vendida à RESP, esta será vendida a um valor mais baixo do que os 0.1135€/kWh que foi indicado em cima.

5.9. CONCLUSÕES

Durante este estudo conclui-se que a instalação de um equipamento de recuperação de energia num sistema de distribuição de água é viável, apesar de grande parte dos cálculos realizados terem sido efetuados, assumindo que os caudais seriam constantes ao longo de cada período de 30 minutos, coisa que à partida se sabe que não corresponde à realidade. O equipamento escolhido tinha características meramente teóricas, o que significa que na realidade possa não existir um equipamento com características semelhantes, podendo ter características menos favoráveis para o estudo em causa.

6

CONCLUSÕES

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a viabilidade da aplicação de soluções alternativas que podem ser utilizadas para a recuperação de desníveis energéticos em sistemas de abastecimento de água. Para tal, recorreu-se ao estudo de um caso hipotético, em tudo semelhante a tantos sistemas de distribuição de água existentes onde se analisaram as soluções que se considera ser as mais adequadas para a situação em questão.

Este trabalho possibilitou a consolidação de conceitos de carácter estrutural, hidráulico e mecânico relacionados com sistemas de abastecimento de água.

A utilização de sistemas adutores, cuja principal função corresponde ao abastecimento de água, e adaptá-los para a produção de energia elétrica, é de grande interesse, e deve ser visto como uma mais valia, uma vez que grande parte dos componentes do sistema já existe, tendo apenas de ser adaptados para a produção de eletricidade, sem prejudicar a sua função principal.

Dado isto, sempre que num sistema de abastecimento existam excessos de energia, podem estar criadas condições para a instalação de uma turbomáquina com o intuito de recuperar energia que, em condições normais, seria dissipada por uma VRP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cordovil, J. D. *A centralidade da energia na estratégia de desenvolvimento do Alentejo*, 8 de outubro de 2010, INALENTEJO
- [2] Santos, F. D. T. *Avaliação do potencial energético associado a uma válvula redutora de pressão-caso de estudo*, outubro de 2010, UBI, Covilhã
- [3] Oliveira, A. F. M. *Recuperação de energia hidráulica em sistemas de distribuição de água*, junho de 2008, Feup, Porto
- [4] <https://rentricity.com/offerings/equipment/> Consultado em: 28 de abril de 2017
- [5] APREN, *Boletim de energias renováveis*, dezembro de 2016
- [6] Cunha, R. *A importância da descentralização da produção de energia elétrica no âmbito da descarbonização da economia*, OERN, 2016
- [7] *Energia em Portugal*, Apren, Março de 2016
- [8] <http://pt.hidroerg.pt/> Consultado em: 28 abril de 2017
- [9] Machado, M. R. F. *Microturbinas em redes de abastecimento de água*, UA, Aveiro, 2015
- [10] Barbosa, A. M. P. R. *Análise técnico-económica de instalações de recuperação da energia hídrica em sistemas de abastecimento de água*, FEUP, Porto, fevereiro de 2017
- [11] Ferreira, R.M.P. *Aproveitamento de energia em sistemas de abastecimento de água*, UM, setembro de 2015
- [12] Castro, R. M. G. *Energias renováveis e produção descentralizada – introdução à energia mini-hídrica*, IST, Lisboa, dezembro de 2002
- [13] Quintela, A. C. *Hidraulica*, Fundação Calouste Gulbenkian
- [14] Ramos et al, *Válvulas redutoras de pressão e produção de energia*, IST, Lisboa, 2004
- [15] Costa, P. M. A. *As máquinas primárias*, ESTV, Viseu, 1999
- [16] Rocha, J. P. C. P. *Metodologia de projeto de sistemas de produção de eletricidade descentralizada baseados em energia hídrica*, FEUP, Porto, Julho de 2008
- [17] <http://www.inforse.org/europe/dieret/Hydro/hydro.html> . consultado em: 5 de maio de 2017
- [18] <http://meusite.mackenzie.com.br/mellojr/Turbinas%20Hidr%E1ulicas/CAP%20TULO%203REV.htm> Consultado em: 6 de maio de 2017
- [19] Marrocano, A. M. F. *Aproveitamentos mini-hídricos*, IPG, Guarda, dezembro de 2015
- [20] Simão, M. C. M. *Hidrodinâmica e desempenho em turbinas de baixa potencia: conceção, modelação e ensaios*, IST, Lisboa, outubro de 2009

- [21] www.ksb.com Consultado em: 6 de maio de 2017
- [21] www.erse.pt Consultado em: 12 de maio de 2017
- [23] <http://www.enat.pt/autoconsumo> Consultado em: 16 de maio de 2017
- [24] Portugal, Lei nº 58 de 2005, de 29 de dezembro (lei da água)
- [25] Portugal, Decreto de lei nº 226-A/2007, de 31 de maio (Estabelece regime da utilização dos recursos hídricos)
- [26] Portugal, Decreto de lei nº 97/2008, de 11 de junho (Estabelece o regime económico e financeiro dos recursos hídricos)
- [27] <http://www.futursolutions.pt/docs/EnquadProdDistri.pdf> Consultado em: 16 de maio de 2017
- [28] <http://critical-kinetics.pt/Unidade-de-Pequena-Producao/unidade-pequena-producao.html>
Consultado em: 17 de maio de 2017

ANEXOS



Copyright © 2017 - Francisco Piqueiro - www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com - F7G_0009

Figura 1 - VRP1.



Copyright © 2017 - Francisco Piqueiro - www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com - F7G_0002

Figura 2 - VRP1.



Copyright: © 2017 - Francisco Piqueiro . www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com . F7G_0011

Figura 3 - bypass VRP1.



Copyright: © 2017 - Francisco Piqueiro . www.FotoEngenho.pt - piqueiro@gmail.com . F7G_0025

Figura 4 - reservatório.

Tabela 1 - VRP's de Arouca

Sub-sistema / ZA	Reservatório	Válvula Redutora de Pressão (VRP)	Funcionamento		DN	Material tubagem
			P [bar] montante	P [bar] jusante		
SAA-006-Alvarenga	RES Espírito Santo	VRP Carreiros 1	-	4	DN 63	PVC
		VRP Carreiros 2	5	5	DN 100	PVC
		VRP Carreiros	-	-	80	PVC
		VRP Várzea-Pirraça	7,5	3	80	-
		VRP Quintã-Picota	10	4	-	PVC
		VRP Chieira	-	3	DN 40	Latão
	RES Várzeas	VRP Pirraça 1	4	3	DN 100	PVC
		VRP Pirraça 2	-	3	DN 63	PEAD
	RES Pade	VRP Pade	-	-	DN 100	PVC
		VRP Vila	-	-	DN 100	PVC
SAA-007-Canelas I	RES Canelas	VRP Canelas de Cima 1	7	2	DN 150	PVC / FF
		VRP Canelas de Cima 2	5	3	DN 150	FF
		VRP Canelas de Cima 3	8	4	DN 150	FF
		VRP Canelas de Baixo	10	5	DN 100	FF
SAA-203-Souto Redondo	RES Souto Redondo	VRP Cemitério Rossas	-	5	DN 60	PEAD
		VRP Cavada	18	4	DN 80	FF
		VRP Lourosa de Matos	-	1	DN 50	PEAD
		VRP Pé da Cruz	-	3	DN 40	PEAD
		VRP Outeiro Rossas	-	-	DN 40	PEAD
		VRP Lourosa de Matos 1	-	-	DN 50	PEAD
		VRP Lourosa de Matos 2	-	-	DN 65	PEAD
		VRP Lourosa de Matos 3	-	-	DN 100	PEAD
	RES Pousadouro	VRP Malafaia 1	10	6	DN 65	-
		VRP Malafaia 2	-	-	DN 32	PEAD
		VRP Malafaia 3	-	-	DN 65	PEAD

		VRP Várzea	12	6	DN 50	PEAD
		VRP Bacelo	-	5	DN 40	PEAD
		VRP Souto de Rei	-	1	DN 50	PEAD
		VRP Laceiras	-	-	DN 32	PEAD
		VRP Cimo da Vila	-	-	-	PEAD
		VRP Bacelo	-	5	DN 40	PEAD
		VRP S. Lourenço	-	2	DN 40	PEAD
	RES Baeol	VRP S. João	-	5	DN 65	PVC
	RES S. João	VRP Vale	-	3.5	DN 50	PEAD
	RES Sanfins	VRP Trigal 1	-	4	DN 63	PEAD
		VRP Trigal 2	13	3	DN 63	PEAD
		VRP Cumeeira	10	2,5	DN 63	PEAD
-	RES Provizende	VRP Provizende	-	3	DN 200	PEAD
		VRP Quintela 1	4	2	DN 75	PEAD
		VRP Quintela 2	-	5	DN 150	PEAD
		VRP Chão d'Ave	9	4	DN 80	PEAD
		VRP Bouça	-	-	DN 50	PEAD
		VRP Sequeiros 1	-	5	DN 32	PEAD
		VRP Sequeiros 2	-	5	DN 50	-
		VRP Farrapa	10	2	DN 65	PEAD
		VRP Barbeito 1	-	-	DN 65	PEAD
		VRP Barbeito 2	-	-	DN 40	PEAD
		VRP Arieiro	-	2	DN 40	PEAD
		VRP Viso	10	3	DN 65	PEAD
		VRP Saril 1	-	5	DN 50	-
		VRP Saril 2	-	-	DN 40	-
SAA-201-Abelheira	RES Abelheira	VRP Vér 1	11	3	DN 65	PEAD
		VRP Vér 2	-	2	DN 65	PEAD

	VRP Juntas 1	5	1	DN 65	PEAD
	VRP Juntas 2	11	1	DN 65	PEAD
	VRP Vila Chã	-	3	DN 50	PEAD
	VRP Cruz das Eiras 1	-	-	-	-
	VRP Cruz das Eiras 2	-	1	DN 63	PEAD
	VRP Cela do Arda	-	1	DN 63	PEAD
	VRP Carvalho Redondo	-	3	DN 63	PEAD
	VRP Belece	-	5	DN 65	-
	VRP Mosteirô 1	-	-	-	-
	VRP Mosteirô 2	8	1,5	DN 65	PEAD
	VRP Borralhoso	-	-	-	-
	VRP Parameira 1	-	-	-	PEAD
	VRP Parameira 2	-	7	DN 80	-
	VRP Belide	-	3	DN 40	PEAD
	VRP Orvida 1	-	3	DN 65	-
	VRP Orvida 2	7	7	DN 40	PEAD
	VRP Tanhel	6	6	DN 40	PEAD
	VRP Mascotes	4	1	DN 65	-
	VRP Cabeçais 1	-	3,5	DN 40	PEAD
	VRP Cabeçais 2	-	3	DN 40	PEAD
	VRP Outeiro	-	6	DN 40	PEAD
	VRP Lar	-	-	DN 80	PEAD
	VRP Escariz	-	3	DN 80	PEAD
	VRP Poças 1	-	3,5	DN 25	PEAD
	VRP Poças 2	-	-	DN 50	PEAD
	VRP Vila Mansores 1	-	-	DN 80	PEAD
	VRP Vila Mansores 2	-	-	DN 100	PVC
	VRP Vila Mansores 3	-	5	DN 32	PEAD
	VRP Ribeira Mansores	-	-	DN 50	PEAD

		VRP Calvário Mansores	12	3	DN 65	PEAD
		VRP Abelheira 1	-	-	DN 150	PEAD
		VRP Abelheira 2	-	2	DN 40	PEAD
	RES Vista Alegre	-	-	-	-	-
	RES Agrad	-	-	-	-	-
	RES Mata	-	-	-	-	-
SAA-205-Forcada	RES Forcada	VRP S. Aleixo	5	3	DN 65	PVC
		VRP Forcada 1	9	5	DN 80	PEAD
		VRP Forcada 2	-	6	DN 65	PEAD
		VRP Penso	-	4	DN 65	PEAD
	RES Porto Escuro	VRP Carrola 1	10	4	DN 50	PEAD
		VRP Carrola 2	-	-	DN 50	-
		VRP Lourosa de Campos	5	3	DN 65	PEAD
		VRP Souto	-	-	-	-
SAA-206-Arouca	RES S. Pedro	VRP Arouca	6	3	DN 40	PEAD
	RES Pernouzela	VRP Pinheiro	-	-	DN 50	PEAD
	RES Portela-Moldes	VRP Outeiro 1	-	2	DN 100	FF
		VRP Outeiro 2	-	2	DN 100	FF
		VRP Outeiro 3	-	4	DN 100	FF
		VRP Estrada Ponte Telhe 1	-	2	DN 80	PEAD
		VRP Estrada Ponte Telhe 2	7	3	DN 80	PEAD
		VRP Estrada Ponte Telhe 3	-	5	DN 100	PEAD
		VRP Estrada Ponte Telhe 4	9	3	DN 80	PEAD
		VRP S. Pedro 1	8	3	DN 100	PEAD
		VRP S. Pedro 2	-	4	DN 100	PEAD
		VRP Valdasna	7	1	DN 50	PEAD
		VRP Celadinha	15	5,5 / 10	-	PEAD
		VRP Eng. Próspero dos Santos	-	3	DN 75	PEAD
SAA-009-Canelas 2	RES Vilarinho	VRP Vilarinho	-	-	DN 25	PEAD

SAA-001-Viçosa	RES Vila Viçosa	VRP Vila Viçosa 1	-	2	DN 50	FF
		VRP Vila Viçosa 2	-	2	-	FF
		VRP Vila Viçosa 3	-	2	-	FF
SAA-002-Sarabigões	RES Sarabigões	VRP Sarabigões	-	-	DN 65	-
		VRP Serabigões	-	-	DN 65	PEAD
SAA-204-Ameixieira	RES Chãos	VRP Vinhas	-	-	-	-
		VRP Amilo	-	3.5	DN 40	-
		VRP Minhãos 1	-	-	DN 65	-
		VRP Minhãos 2	-	3.5	DN 50	PEAD
		VRP Minhãos 3	-	3.5	DN 40	PEAD
	RES S.Maria Monte	VRP S. Maria Monte 1	6	3	DN 50	PEAD
		VRP S. Maria Monte 2	-	-	DN 50	PEAD
		VRP S. Maria Monte 3	-	-	DN 65	PEAD
		VRP S. Maria Monte 4	5	5	DN 65	PEAD
		VRP Presa	.	-	DN 65	PEAD
		VRP Barreiros	4	2	DN 65	PEAD
		VRP Jagueiros	5	2	DN 65	PEAD
	RES Ameixieira	-	-	-	-	-
	RES Nogueiró-Frágua	-	-	-	-	-
SAA-Soutelo	RES Soutelo	-	-	-	-	-
-	-	VRP Passal	-	4,5	80	-
	-	VRP Gamarão de Baixo	6	1	75	PEAD
	-	VRP Chão de Ave				
	-	VRP Rua da Igreja				
	-	VRP Santo Aleixo			DN 65	
	-	VRP Boco				
	-	VRP Barrol	-	3	DN 40	PEAD
	-	VRP Lameira	-	2	DN 90	FF
	-	VRP Amilo	-	3	DN 40	PEAD